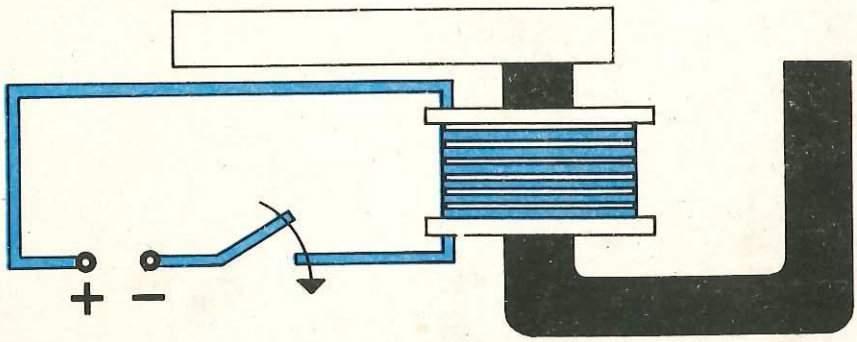
MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

VIII

Fizică

Manual pentru clasa a VIII-a



Editura Didactică și Pedagogică, București—1987

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Emanuel Nichita
prof.

Mircea Fronescu
prof.

Grigore Ilie
prof.

Fizică

Manual pentru clasa a VIII-a

Editura Didactică și Pedagogică, București

Manualul a fost elaborat în anul 1982, pe baza programei aprobate de M.E.Î. cu nr. 3448/28.IV. 1979, și avizat de Comisia de fizică a M.E.Î

Manualul a fost elaborat astfel:

Capitolele: 1, 2, 3 și 4 (§ 4.1 — 4.9) — **E. Nichita**
Capitolele: 4 (§ 4.9 — 4.13); 5 și 8 — **M. Fronescu**
Capitolele: 6 și 7 — **G. Ilie**

Referenți:
Catedra de fizică a liceului „I.L. Caragiale" — București
Catedra de fizică a liceului „Ion Creangă" — București

Redactor: **Elisabeta Mesaroș**
Tehnoredactor: **Viorica Condopol**
Desenator: **I. Danilov**
Coperta: **N. Sîrbu**

CUPRINS

1. **Introducere** 5
2. **Electrizarea corpurilor** 7
2.1. Electrizarea corpurilor prin frecare 7
2.2. Electrizarea corpurilor prin contact 9
2.3. Electrizarea corpurilor prin influență 9
2.4. Conductoare și izolatoare 10
2.5. Sarcina electrică. Sarcina electrică elementară. Electronul 12
Rezumat 15
Întrebări. Probleme 15

3. **Interacțiunea sarcinilor electrice** 17
3.1. Legea lui Coulomb 17
3.2. Cîmp electric. Intensitatea cîmpului electric 19
3.3. Potențialul electric 23
3.4. Fenomene electrice în atmosferă. Fulgerul. Paratrăznetul 24
Rezumat 27
Întrebări. Probleme 29

4. **Curentul electric. Rețeaua electrică** 31
4.1. Producerea curentului electric 31
4.2. Generatoare de energie electrică. Tipuri de generatoare 33
4.3. Efectele curentului electric 36
4.4. Intensitatea curentului electric. Măsurarea prin efecte. Unitatea de măsură 39
4.5. Tensiunea electrică. Unitatea de măsură. Tensiunea electromotoare 43
4.6. Rezistența electrică. Măsurarea ei. Tipuri de rezistoare 45
4.7. Legea lui Ohm 51
4.8. Legea lui Joule. Aplicații 52
4.9. Energia și puterea electrică. Unități pentru energia și puterea electrică 56
Întrebări. Probleme 61
4.10. Elementele unei rețele electrice 64
4.11. Legile lui Kirchhoff 65
4.12. Gruparea rezistoarelor 68
4.13. Gruparea generatoarelor electrice 71
Rezumat 73
Întrebări. Probleme 74

5. **Curentul electric în electroliți** 76
5.1. Disociația electrolitică 76
5.2. Electroliza 77

5.3. Aplicațiile electrolizei 78
Rezumat 80
Întrebări. Probleme 80

6. Cîmpul magnetic 81
6.1. Magneți. Magnetizare 81
6.2. Acțiunea reciprocă dintre magneți 85
6.3. Experimentul lui Oersted 87
6.4. Cîmpul magnetic 89
6.5. Electromagneții și aplicațiile lor 94
6.6. Interacțiunea dintre un cîmp magnetic și un curent electric 98
6.7. Inducția magnetică 100
6.8. Interacțiunea dintre două circuite parcurse de curenți electrici 102
6.9. Aplicații ale interacțiunilor electromagnetice 103
Rezumat 107
Întrebări. Probleme 108

7. Inducția electromagnetică 111
7.1. Fluxul magnetic 111
7.2. Inducția electromagnetică într-un circuit 112
7.3. Experimentele lui Faraday 115
7.4. Sensul curentului de inducție. Regula lui Lenz 119
7.5. Curentul indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic 122
7.6. Generatorul electric de curent alternativ (alternatorul) 124
7.7. Alcătuirea și funcționarea dinamului 126
7.8. Producerea și transportul energiei electrice la distanță 128
7.9. Transformatorul 132
Rezumat 136
Întrebări. Probleme 137

8. Noțiuni de optică geometrică 139
8.1. Propagarea luminii 139
8.2. Reflexia luminii. Oglinzi plane și oglinzi sferice 143
8.3. Refracția luminii 149
8.4. Dispersia luminii 161
8.5. Culoarea corpurilor 162
8.6. Instrumente optice 164
Rezumat 171
Întrebări. Probleme 172

1.

Introducere

În studiul fizicii de pînă acum, ați avut posibilitatea să vă familiarizați cu noțiuni ca: fenomen, mărime fizică, unitate de măsură, stare, stare de echilibru etc.

Cu această ocazie, ați constatat că orice schimbare a stării unui sistem (stare mecanică, termodinamică etc.) este rezultatul interacțiunii sistemului cu alt sistem. În acest an veți aprofunda alte tipuri de interacțiuni și anume: electrice și magnetice, interacțiuni importante prin multiplele și variatele lor aplicații.

Primele observații referitoare la fenomenele de electrizare aparțin lui Thales din Milet, dar cercetări sistematice în legătură cu studiul fenomenelor electrostatice, fenomene produse de sarcinile electrice aflate în repaus, au fost întreprinse în a doua jumătate a secolului XVIII (C.A. Coulomb 1736—1806). Secolele XVIII și XIX marchează un puternic avînt al cercetărilor privind legătura între fenomenele electrice și magnetice (H.C. Oersted, 1777—1851, și M. Faraday, 1791—1867). Se pun la punct mașinile electrostatice, se realizează primele surse de tensiune, se inventează becul cu incandescență, telefonul, dinamul, motorul electric, primele centrale electrice etc.

Principiile fundamentale de funcționare a tuturor dispozitivelor electromagnetice se află în lucrările teoretice ale fizicianului J.C. Maxwell (1831—1879).

Secolul XX debutează cu descoperiri de mare însemnătate pentru fizică. Se dezvoltă cunoștințele și tehnologiile legate de transmiterea informațiilor, se perfecționează tehnica de calcul, se modernizează prin automatizare procesele tehnologice.

Primele cunoștințe de optică se datoresc lui Euclid (sec. III î.e.n.), autor a două tratate în care se pun bazele reflexiei, se prezintă fenomene legate de oglinzi, sînt descrise experimente de refracție. Importante sînt și observațiile făcute de Heron. O dată cu descoperirea legilor refracției (W. Snell, 1591—1626 și R. Descartes, 1596—1650), putem afirma că bazele opticii geometrice sînt complete, iar dezvoltarea ei ulterioară a fost mai mult opera matematicienilor și a constructorilor de instrumente. Galileo Galilei (1564—1642) a reali-

zat în 1609 o lunetă care mărea de 3 ori, putînd astfel să observe de circa 10 ori mai multe stele decît cu ochiul liber, iar în 1610 a construit un telescop care mărea de 32 de ori. În anul 1675 astronomul danez O. Römer determină viteza luminii. Ulterior, fizicieni ca: Huygens, Euler, Lambert inițiază și fundamentează noi domenii ale opticii.

La îmbogățirea cunoștințelor umanității, în aceste domenii ale fizicii, un aport de seamă l-au adus o serie de oameni de știință români. Astfel sînt cunoscute în întreaga lume nume ca: Emanoil Bacaloglu, Dimitrie Negreanu, Dragomir Hurmuzescu, Ștefan Procopiu, Nicolae Vasilescu-Karpen și mulți alții.

Congresul de Istorie a Științelor, desfășurat în anul 1981 la București, a apreciat contribuția școlii românești, a oamenilor de știință români, la dezvoltarea științei pe plan mondial, la promovarea unei politici de pace, de conlucrare între oamenii de știință de pe toate meridianele Globului.

2.
Electrizarea corpurilor

În acest capitol ne vom ocupa mai pe larg de un tip de interacțiuni al căror studiu l-ați început în clasa a VI-a, și anume de interacțiunile electrostatice.

2.1. Electrizarea corpurilor prin frecare

Acest procedeu de electrizare a fost descris pentru prima dată de Thales din Milet (sec. al VII-lea î.e.n.), pe baza observației făcute de o țesătoare. Aceasta a constatat că prin frecarea chihlimbarului cu o stofă de lînă, el capătă proprietatea de a atrage corpuri ușoare.

Asemenea observații ați făcut și voi, cînd v-ați pieptănat părul uscat cu un pieptene de material plastic sau cînd ați șters mobila de praf.

Vă propunem următorul experiment:

E **Experimentul 1.** Luați o plăcuță de PCV sau celuloid și apropiați-o de corpuri ușoare numite și corpuri de probă (firicele de păr, bucățele de hîrtie, bobițe de poliester). Frecați apoi plăcuța cu un material textil, prin prinderea ei în interiorul materialului și tragerea ei bruscă în exterior. Apropiați din nou plăcuța de corpurile de probă și observați fenomenul care se produce.

Inițial nu se remarcă nici un fel de interacțiune între plăcuță și corpurile de probă. După frecarea plăcuței, ea atrage corpurile de probă.

Starea inițială a plăcuței o vom numi *stare neutră* din punct de vedere electric, iar starea în care trece după frecarea cu materialul textil o vom numi *stare electrizată*.

Procesul prin care plăcuța a trecut din starea neutră în starea electrizată îl numim *electrizare prin frecare*.

Concluzie. *Trecerea unui corp din starea neutră în starea electrizată este rezultatul unei interacțiuni între două corpuri.*

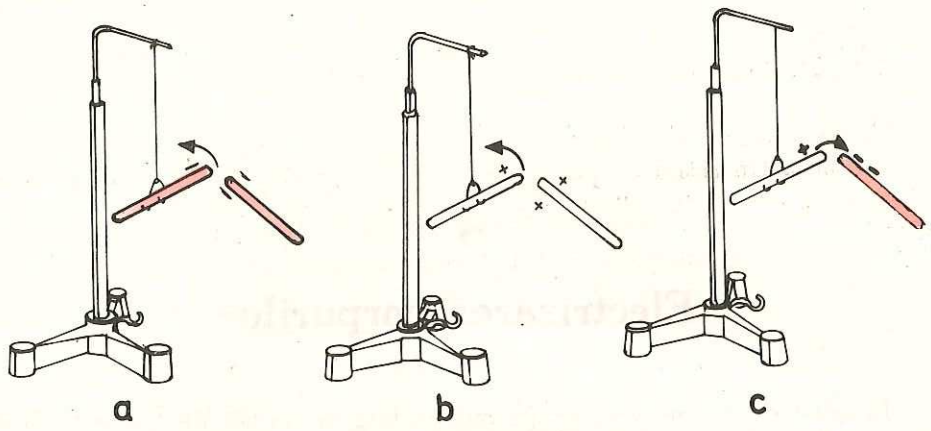


Fig. 2.1. *a)* Două plăcuțe din PCV electrizate se resping; *b)* două bastonașe de sticlă electrizate se resping; *c)* un bastonaș de sticlă și o plăcuță din PCV, ambele electrizate, se atrag.

E | **Experimentul 2.** Frecați la un capăt o plăcuță de PCV și suspendați-o de un suport ca în figura 2.1, *a*. Frecați o altă plăcuță de PCV și apropiați capetele electrizate ale celor două plăcuțe. Observați comportarea lor. Repetați experimentul cu două bastonașe de sticlă (fig. 2.1, *b*). Puteți efectua experimente cu o serie de alte materiale (ebonită, celuloid, alte materiale plastice etc.).

Luați apoi plăcuța de PCV, electrizați-o și suspendați-o de suport. Apropiați de ea bastonașul de sticlă electrizat (fig. 2.1, *c*). Observați cu atenție fenomenul ce se produce.

Obiectele din același material, electrizate prin aceeași metodă (frecare), se resping. Unele obiecte electrizate, alcătuite din materiale diferite, se atrag.

Am precizat „unele obiecte", deoarece există posibilitatea ca două obiecte electrizate, alcătuite din materiale diferite, să se respingă. Exemplu: o plăcuță de PCV electrizată și una de celuloid electrizată se resping.

Observația de mai sus a determinat împărțirea corpurilor electrizate în două clase:

a) despre cele care trec într-o stare de electrizare asemănătoare plăcuței de PCV (celuloid, ebonită, chihlimbar etc.) spunem că s-au *electrizat negativ* (—) sau că au o *sarcină electrică negativă*;

b) despre cele care trec într-o stare de electrizare asemănătoare bastonașului de sticlă (metalele) spunem că s-au *electrizat pozitiv* (+) sau că au o *sarcină electrică pozitivă*.

Corpurile aflate în aceeași stare de electrizare (fie +, fie —) se resping între ele, iar cele aflate în stări de electrizare diferite (+ și —) se atrag.

2.2. Electrizarea corpurilor prin contact

Acest procedeu de electrizare poate fi ușor evidențiat folosind pendulul electrostatic. Un astfel de pendul se obține suspendînd de un suport un fir de ață cu o bobiță de poliester legată la un capăt (fig. 2.2).

E | **Experimentul 3.** Electrizați o plăcuță din PCV sau din celuloid și apropiați-o de bobița pendulului astfel încît bobița să vină în contact cu plăcuța.

La început se constată că bobița este atrasă de plăcuță (fig. 2.3, *a*), iar după contactul lor bobița pendulului este puternic respinsă (fig. 2.3, *b*).

Prin contactul dintre un corp electrizat și unul neutru, cel neutru trece în aceeași stare de electrizare ca și corpul electrizat.

2.3. Electrizarea corpurilor prin influență

Efectuînd experimentul 3, ați constatat că, apropiind de bobița pendulului o plăcuță din PCV electrizată, bobița este atrasă. Știți însă că interacționează electric corpurile electrizate, iar bobița era inițial neutră. Oare, prin apropierea plăcuței de bobiță, aceasta din urmă s-a electrizat? Vom răspunde prin următorul experiment.

E | **Experimentul 4.** *a)* Așezați două vergele metalice pe două pahare Berzelius și apropiați paharele pînă cînd vergelele vin în contact (fig. 2.4, *a*). Apropiați plăcuța de PCV electrizată de vergeaua *B*, fără să o atingeți, și apoi îndepărtați paharele, avînd grijă să nu atingeți vergelele.

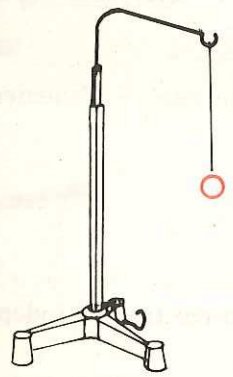


Fig. 2.2. Pendul electrostatic.

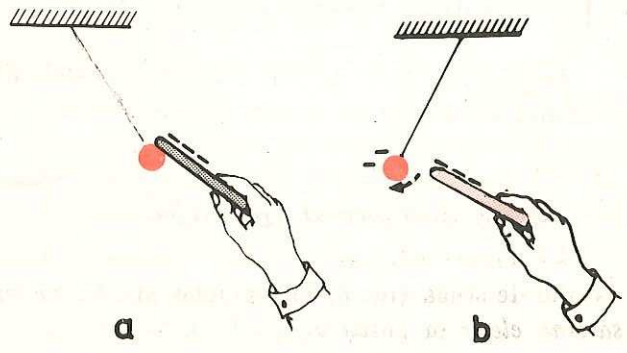


Fig. 2.3. Electrizarea prin contact: *a)* bobița este atrasă; *b)* după electrizare, bobița este respinsă.

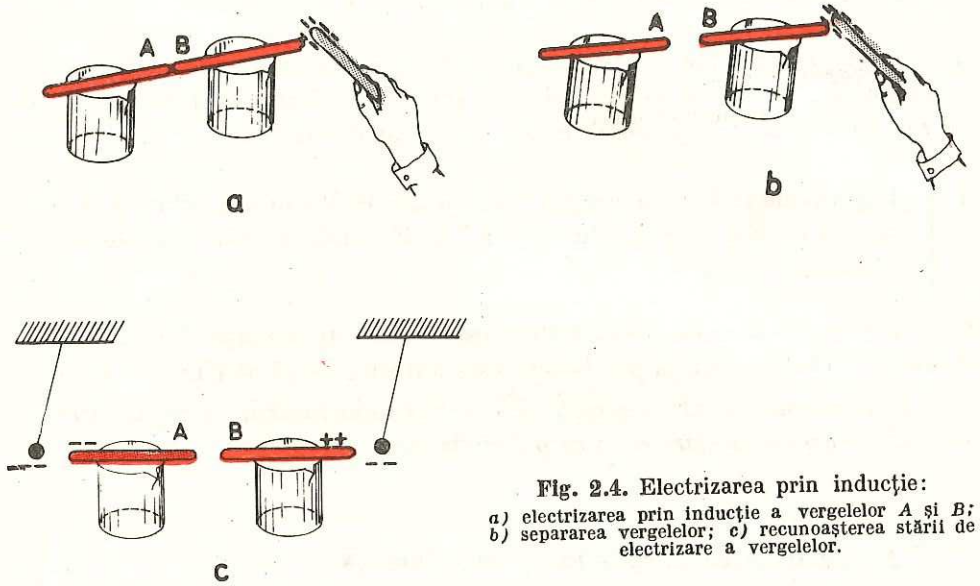


Fig. 2.4. Electrizarea prin inducție:
a) electrizarea prin inducție a vergelelor *A* și *B*;
b) separarea vergelelor; *c)* recunoașterea stării de electrizare a vergelelor.

Acum puteți îndepărta și plăcuța din PCV electrizată (fig. 2.4, *b*). Apropiați pe rînd, de cele 2 vergele, un pendul electrizat, de exemplu, negativ. Observați cu atenție cum interacționează pendulul cu cele două vergele (fig. 2.4, *c*).

Veți constata că vergeaua *B* atrage pendulul, iar vergeaua *A* îl respinge.

Deci prin apropierea unui corp electrizat de un corp metalic, un capăt al acestuia se electrizează pozitiv, iar celălalt negativ.

Acest procedeu de a electriza un corp se numește *electrizare prin inducție sau prin influență*.

E *b)* Puneți din nou în contact cele două vergele, apropiind paharele, și verificați cu pendulul starea lor de electrizare.

După ce au fost puse în contact, vergelele devin neutre. Fenomenul va fi înțeles după ce se va studia sarcina electrică.

2.4. Conductoare și izolatoare

În experimentul 4, vi s-a atras atenția că paharele trebuie îndepărtate fără a atinge cu mîna vergelele metalice.

Dacă încercați să electrizați prin frecare o vergea metalică ținînd-o în mînă, nu veți reuși. Este necesar ca un capăt al acesteia să fie introdus într-un mîner din lemn sau material plastic, pentru a o putea electriza.

De ce sînt necesare oare aceste precizări? Vom răspunde prin următorul experiment:

E **Experimentul 5.** *a)* Așezați o vergea metalică (Al, Cu, oțel) pe un pahar Berzelius și puneți unul dintre capetele vergelei în contact cu bobița unui pendul electric (fig. 2.5, *a*). Atingeți capătul celălalt cu o plăcuță din PCV electrizată (fig. 2.5, *b*). Observați comportarea bobiței. Apropiați apoi bobița de diferite puncte ale vergelei și observați din nou comportarea ei.

Cînd un capăt al vergelei a fost atins cu plăcuța electrizată, bobița aflată în contact cu celălalt capăt a fost respinsă. De asemenea, bobița a fost respinsă în oricare loc al vergelei. Înseamnă că, prin atingerea vergelei cu plăcuța din PCV, întreaga vergea s-a electrizat.

Substanțele care se electrizează în întregime cînd vin în contact cu corpuri electrizate se numesc *conductoare*. Aceste substanțe au și proprietatea de a permite trecerea curentului electric prin ele.

În această clasă de substanțe, în afara metalelor, intră și grafitul, soluțiile apoase ale acizilor, bazelor și sărurilor, corpul animal, pămîntul etc.

E *b)* Repetați experimentul, folosind în locul vergelei metalice o plăcuță de celuloid sau o vergea de sticlă. Atingeți un capăt al plăcuței cu o plăcuță din PCV electrizată și observați comportarea bobiței (fig. 2.5, *c*). Apropiați-o apoi de diferite puncte ale plăcuței de celuloid.

Se constată că bobița nu mai este respinsă în oricare loc al plăcuței de celuloid ci numai în locul în care placa de celuloid a fost electrizată.

Substanțele care nu se electrizează în întregime, ci rămîn electrizate numai în zona de contact, se numesc *izolatoare* sau *dielectrici*. Acestea nu permit trecerea curentului electric prin ele.

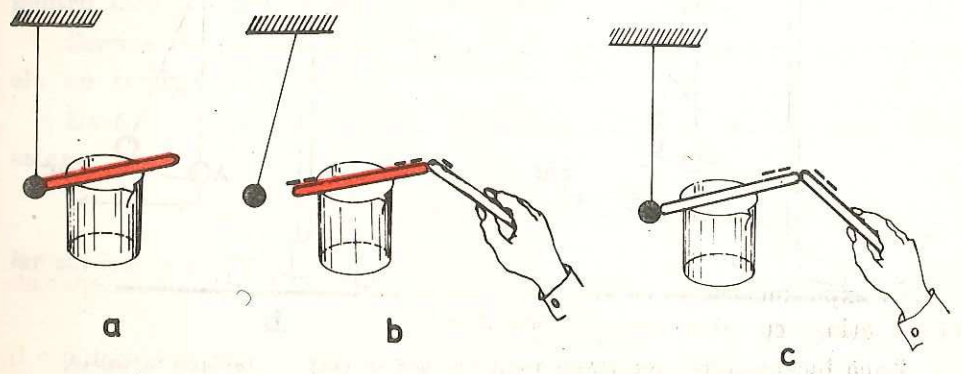


Fig. 2.5. Aranjament experimental pentru evidențierea electrizării unui conductor *(a, b)* și a unui izolator *(c)*.

În această clasă de substanțe intră porțelanul, mica, sticla, ebonita, materialele plastice, cauciucul, uleiurile, apa distilată, aerul uscat etc.

Un izolator foarte bun numit dielectrină a fost inventat de profesorul român Dragomir Hurmuzescu (1865—1954). Acesta a utilizat dielectrina în realizarea unui electroscop folosit de către fizicienii Pierre și Marie Curie în cercetările lor legate de fenomenul radioactivității naturale.

2.5. Sarcina electrică. Sarcina electrică elementară. Electronul

V-ați familiarizat cu noțiunea de „corp electrizat" sau corp ce „are sarcină electrică". Ce este de fapt sarcina electrică?

E | **Experimentul 6.** Montați pendulul electrostatic (fig. 2.6). Apropiați de el, la o distanță r de circa 10 cm, o plăcuță B de PCV electrizată prin frecare. Observați mărimea unghiului α de deviație a pendulului. Luați o altă plăcuță C de PCV electrizată prin frecare și apropiați-o de pendul la aceeași distanță. Observați noul unghi α' de deviație a pendulului.

Sînt posibile trei situații:

a) $\hat{\alpha} = \hat{\alpha}'$; deoarece plăcuțele electrizate B și C au produs pendulului aceeași deviație, spunem că ele au sarcina electrică egală;

b) $\hat{\alpha} > \hat{\alpha}'$; deoarece plăcuța electrizată B produce pendulului o deviație unghiulară mai mare decît plăcuța electrizată C, spunem că ea are sarcina electrică mai mare decît cea a plăcuței C;

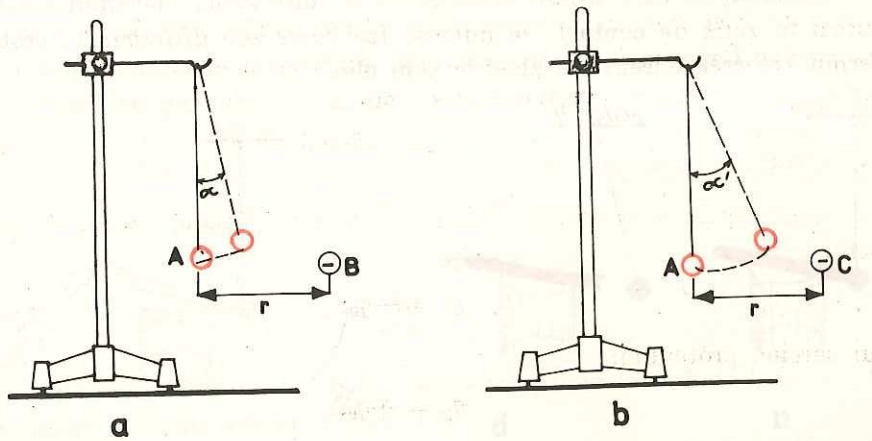


Fig. 2.6. Corpurile electrizate B și C pot determina deviații diferite ale unui pendul electrostatic.

c) $\hat{\alpha} < \hat{\alpha}'$; deoarece deviația produsă de plăcuța electrizată B este mai mică decît cea produsă de plăcuța electrizată C, spunem că plăcuța B are sarcina electrică mai mică decît cea a plăcuței C.

Analizați figurile 2.6, *a* și *b* și spuneți care dintre cele două plăcuțe B sau C are sarcina electrică mai mare.

Sarcina electrică este o mărime fizică ce caracterizează starea de electrizare a unui corp.

Un corp poate fi electrizat pozitiv sau negativ. Din acest motiv și sarcinii electrice i se atribuie semnul + sau —, după cum corpul se află în starea de electrizare pozitivă sau negativă. Corpurilor neutre li se va atribui sarcina electrică zero. Să însemne oare că un corp neutru este un corp care nu are sarcină electrică?

Se știe că un corp este alcătuit din molecule, care, la rîndul lor, sînt alcătuite din atomi. Atomii au o structură complexă, a cărei cunoaștere ne dă posibilitatea să înțelegem atît procesul de electrizare a corpurilor cît și aprofundarea noțiunii de sarcină electrică.

După cum știți de la chimie (Chimia clasa a VII-a, cap. 2), atomul este constituit din *nucleu* și *înveliș electronic.*

În nucleu se găsesc particule numite nucleoni, dintre care două tipuri vă sînt cunoscute: protonii și neutronii. Protonii sînt particule elementare, avînd sarcina electrică pozitivă. Numărul protonilor din nucleu este constant, pentru un anumit element chimic. Neutronii sînt nucleoni care nu au sarcină electrică.

Învelișul electronic este constituit din electroni care se rotesc în jurul nucleului. Electronii sînt particule elementare, avînd sarcină electrică negativă. Sarcina electronului este cea mai mică sarcină cunoscută pînă acum, motiv pentru care o numim *sarcină elementară.*

Sarcina unui proton este egală ca mărime cu sarcina unui electron dar ele au semne diferite.

Dacă notăm cu q_0 sarcina electrică elementară, atunci sarcina electronului este:

$$q_e = -q_0,$$

iar sarcina protonului:

$$q_p = +q_0.$$

Această precizare, împreună cu observația că atomii sînt neutri din punct de vedere electric, ne duce la concluzia că:

Numărul electronilor din învelișul electronic este egal cu numărul protonilor din nucleu.

Sarcina totală a învelișului electronic va fi:

$$Q_t = -Z \cdot q_0, \tag{1}$$

unde Z reprezintă numărul electronilor din înveliș, iar q_0 sarcina elementară.

Sarcina totală a nucleului va fi:

$$Q_N = +Z \cdot q_0. \tag{2}$$

Avînd în vedere cele de mai sus și ținînd seama că toate corpurile sînt alcătuite din atomi, starea de neutralitate a unui corp trebuie înțeleasă nu ca o lipsă a sarcinilor electrice, ci ca o egalitate a sarcinilor pozitive cu cele negative.

Schimbarea stării de neutralitate poate avea loc numai prin modificarea numărului de electroni de pe un corp. Cedarea unui număr de electroni de către un corp este echivalentă cu un surplus de sarcini pozitive, deci cu electrizarea pozitivă a corpului. Acceptarea unor electroni de la un alt corp este echivalentă cu un surplus de sarcini negative, deci cu electrizarea negativă a corpului.

Ca la orice mărime fizică, și pentru sarcina electrică este necesară alegerea unei unități de măsură. Prin convenție internațională, pentru sarcina electrică s-a ales, ca unitate de măsură în SI, *coulombul*, notat prescurtat C:

$$\langle Q \rangle_{SI} = 1 \text{ C}.$$

Întrucît corpurile electrizate au sarcini mult mai mici decît un coulomb, se folosesc submultiplii acestuia:

microcoulombul: $1\mu C = 10^{-6}$ C și

nanocoulombul: $1nC = 10^{-9}$ C.

Sarcina electronului este:

$$q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C},$$

iar cea a protonului:

$$q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Să presupunem că prin frecarea unei plăcuțe de PCV cu o stofă, plăcuța a primit de la stofă „n" electroni. În acest fel plăcuța va avea sarcina totală negativă:

$$Q = -n \cdot q_0,$$

iar stofa sarcina totală pozitivă:

$$Q = +n \cdot q_0.$$

Deci, numărul sarcinilor elementare luate de pe un corp trebuie să fie egal cu numărul celor transferate pe un alt corp sau pe un sistem de corpuri. Se remarcă faptul că întotdeauna sarcina totală a unui corp este un multiplu întreg al sarcinii elementare.

Rezumat

Electrizarea corpurilor se poate realiza prin: *frecare*, *contact* și *influență (inducție)*.

Corpurile electrizate interacționează între ele: se atrag sau se resping după cum au sarcini electrice de semn contrar, respectiv de același semn.

Substanțele care se electrizează în întregime cînd vin în contact cu corpuri electrizate se numesc *conductoare*, iar cele care se electrizează numai în zona de contact se numesc *izolatoare (dielectrici)*.

Sarcina electrică este o mărime fizică ce caracterizează starea de electrizare a corpurilor.

Unitatea de măsură pentru sarcina electrică este *coulombul*.

Întrebări. Probleme

1. De ce nu se recomandă ștergerea repetată și mai ales apăsată a discurilor de picup cu materiale textile?
2. Electrizați prin frecare o plăcuță de PCV și apropiați-o fără a o atinge de un jet subțire de apă de la un robinet. Explicați fenomenul observat. (Temă experimentală.)
3. Pentru a reține pulberile (praful) din gazele evacuate de unele instalații industriale se folosesc filtrele electrice. Gazele sînt introduse în vase metalice în care se găsesc niște site tot metalice, izolate de vase. Sitele sînt puternic electrizate pozitiv, iar vasele puternic negativ. Explicați funcționarea acestor electrofiltre.
4. Prin apropierea bobițelor a două pendule electrostatice s-a constatat respingerea lor. Puteți preciza semnul sarcinii de pe ele? Dar dacă ați constata atracția lor?
5. Avînd la dispoziție o plăcuță de PCV și un pendul electrostatic, cum veți proceda pentru a stabili semnul sarcinii unui alt corp electrizat? (Temă experimentală.)
6. În clasa a VI-a ați învățat unele lucruri despre aparatul numit electroscop. Descrieți modul în care veți folosi acest aparat pentru a stabili:
   a) dacă un corp este electrizat;
   b) semnul sarcinii de pe corpul respectiv.
7. Apropiați fără a atinge o plăcuță din PCV de sfera unui electroscop și apoi îndepărtați-o. Observați comportarea acului mobil în cele două situații și explicați cele constatate. (Temă experimentală.)
8. Sferele a două electroscoape sînt puse în contact printr-un conductor metalic. De sfera primului electroscop se apropie fără a se atinge o plăcuță de PCV puternic electrizată. Se constată îndepărtarea foițelor. Cu ce sarcină electrică sînt încărcate foițele celor două electroscoape și sfera celui de-al doilea electroscop?
9. Pentru ca un corp să poată fi electrizat pozitiv trebuie înlăturați toți electronii din el?

10. Arătaţi care va fi rezultatul punerii în contact a sferelor a două electroscoape identice dacă:

a) ambele sînt electrizate cu sarcini egale şi de acelaşi semn;

b) ambele sînt electrizate cu sarcini egale dar de semne contrare;

c) unul este puternic electrizat negativ, iar altul slab pozitiv;

d) unul este electrizat, iar celălalt este neutru.

11. De un electroscop electrizat negativ se apropie o baghetă electrizată. Se constată apropierea foiţelor. Ce semn are sarcina electrică de pe baghetă? Cum explicaţi procesul descris? (Temă experimentală.)

12. De un electroscop electrizat pozitiv se apropie o baghetă electrizată. Se constată apropierea foiţelor. Ce semn are sarcina electrică de pe baghetă? (Temă experimentală.)

13. Două sfere metalice identice au sarcinile electrice Q_1 şi Q_2, ambele negative. Ce sarcină va avea fiecare din ele după contact?

14. Trei sfere metalice identice *A*, *B*, *C* sînt electrizate astfel: sfera *A* cu sarcina $+6$ μC, *B* cu sarcina -2 μC iar *C* cu sarcina -1 μC. Sferele sînt puse în contact şi apoi îndepărtate.

a) Ce sarcină electrică va avea în final fiecare sferă?

b) Ce sarcină electrică ar trebui să aibă sfera *C* pentru ca în final cele trei sfere să devină neutre?

R: *a)* $+1$ μC; *b)* -4 μC.

15. Un electroscop este electrizat cu o sarcină de $+0{,}32$ μC.

a) Cîţi electroni i-au fost „luaţi" electroscopului, ştiind că iniţial a fost neutru?

b) Dar dacă iniţial ar fi avut sarcina de $-0{,}32$ μC?

R: *a)* $2 \cdot 10^{12}$; *b)* $4 \cdot 10^{12}$

3.

Interacţiunea sarcinilor electrice

Studiul calitativ al fenomenelor de electrizare a evidenţiat faptul că între corpurile electrizate se manifestă interacţiuni. Aceste interacţiuni sînt caracterizate de forţe de atracţie sau respingere între corpurile electrizate.

În cele ce urmează vom stabili ce factori determină intensitatea acestor interacţiuni.

3.1. Legea lui Coulomb

În anul 1785 fizicianul francez Charles Coulomb a stabilit pe cale experimentală legea care-i poartă numele şi care stabileşte dependenţa între: forţa cu care două corpuri electrizate interacţionează, mărimea sarcinilor electrice ale celor două corpuri şi distanţa dintre ele.

Dispozitivul experimental folosit, numit balanţă de torsiune, i-a fost sugerat de instrumentul utilizat de Cavendish la studiul atracţiei dintre două corpuri oarecare din Univers.

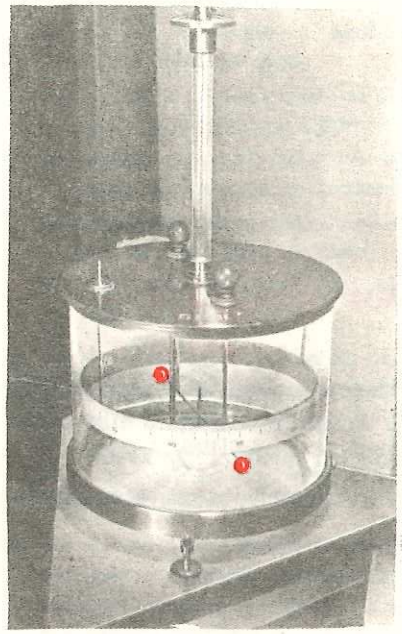
Principiul de construcţie al balanţei de torsiune este prezentat în figura 3.1, *a* şi *b*.

De un fir este suspendată o bară orizontală izolatoare avînd la capete două sfere metalice mici *B* şi *C*. Cînd de sfera *B*, electrizată pozitiv, se apropie o altă sferă *A*, electrizată tot pozitiv, forţa de respingere determină rotirea braţului *BC* al balanţei cu unghiul α în sensul indicat în figură.

Cu cît acest unghi este mai mare, firul este mai puternic răsucit (torsionat) şi deci forţa de respingere este mai mare.

Modificînd distanţa dintre sferele electrizate *A* şi *B*, Coulomb a dedus că forţa de interacţiune este invers proporţională cu pătratul distanţei dintre centrele sferelor electrizate.

Modificînd mărimea sarcinilor electrice de pe cele două sfere, s-a constatat că forţa de interacţiune dintre ele este direct proporţională cu mărimea sarcinilor electrice.



a

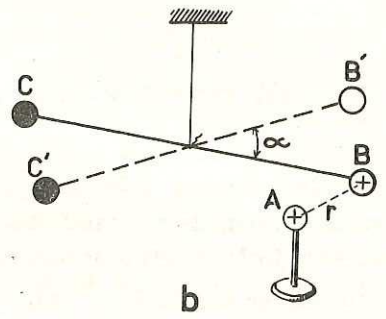


Fig. 3.1. Balanţa de torsiune:
a) fotografie; *b)* schiţă.

Rezultatele obţinute pot fi reunite într-o relaţie matematică a cărei expresie este:

$$F = k \frac{q_A \cdot q_B}{r^2}. \qquad (1)$$

Forţa cu care interacţionează două sarcini electrice este direct proporţională cu mărimea lor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre ele.

În relaţia (1) k este o constantă de proporţionalitate a cărei valoare depinde de mediul în care se află sarcinile în interacţiune (aer, ulei, apă etc.).

În cazul în care sarcinile q_A şi q_B se găsesc în vid sau în aer constanta de proporţionalitate are valoarea $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

Relaţia (1) va deveni:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{q_A \cdot q_B}{r^2}.$$

Dacă notăm $q_A = Q$ şi $q_B = q$, atunci relaţia de mai sus se scrie:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{Q \cdot q}{r^2}.$$

Această lege este valabilă numai în cazul în care dimensiunile corpurilor cu sarcinile Q şi q sînt foarte mici în raport cu distanţa dintre ele (spunem că legea e valabilă numai pentru corpuri punctiforme) şi dacă cele două corpuri sînt fixe. Dacă corpurile electrizate se mişcă unul faţă de altul, legea nu mai descrie corect interacţiunea dintre sarcinile electrice.

3.2. Cîmp electric. Intensitatea cîmpului electric

3.2.1. Cîmp electric. Aţi remarcat probabil faptul că simţurile noastre nu ne permit să deosebim un corp electrizat de unul neutru.

Dacă în vecinătatea unui corp electrizat se aduce un corp de dimensiuni mici încărcat cu sarcină electrică numit corp de probă, se constată că în fiecare punct din jurul corpului electrizat se exercită forţe asupra corpului de probă. Aceste forţe evidenţiază existenţa în jurul corpului electrizat a unei stări a materiei pe care simţurile noastre nu o pot sesiza.

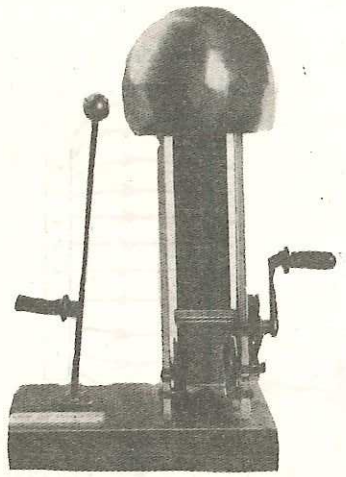
Cîmpul electric este o formă de existenţă a materiei din jurul corpurilor electrizate capabilă să realizeze interacţiuni cu alte corpuri purtătoare de sarcină electrică.

Experimente efectuate în vid au demonstrat că interacţiunile dintre corpurile electrizate au loc şi în aceste condiţii. Deci existenţa cîmpului electric este independentă de prezenţa substanţei.

În cazul particular *cînd cîmpul este creat de un corp electrizat aflat în repaus, el se numeşte cîmp electrostatic.*

Pentru studiul cîmpului electrostatic, vă propunem un experiment în care vom utiliza maşina electrostatică Van de Graaff.

Această maşină, al cărei aspect îl vedeţi în figura 3.2, are doi poli: o sferă metalică goală în interior numită colectorul de sarcini *(1)* şi o alta mai mică numită eclator *(2)*. Colectorul se sprijină pe o coloană în care se află o bandă din cauciuc sau mătase cauciucată trecută peste două role cilindrice şi care poate fi pusă în mişcare cu ajutorul unei manivele. Două periuţe metalice (una aflată la partea superioară, iar cealaltă la partea inferioară a maşinii)



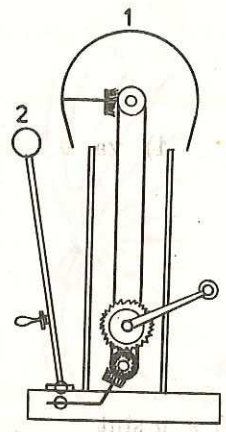


Fig. 3.2. Maşina electrostatică Van de Graaff.

preiau sarcinile care apar pe bandă ca urmare a frecării ei cu cele două role și le transmit celor două sfere. Colectorul de sarcini se va electriza negativ, iar eclatorul se va electriza pozitiv.

E | **Experimentul 1.** Confecționați din staniol sau tablă subțire foi de formă circulară și dreptunghiulară. Lipiți aceste foi pe plăci din material plastic sau sticlă. Presărați în jurul acestor foi, cît mai uniform, firicele scurte de păr sau cristale de hidrochinonă, apoi electrizați foițele, punîndu-le în contact cu polii mașinii electrostatice Van de Graaff. Loviți ușor plăcuța de plastic și observați modul în care se dispun corpurile de probă (fig. 3.3 *a*, *b*, *c*, *d*).

Corpurile de probă se dispun după niște linii pe care le vom numi linii de cîmp. Totalitatea lor constituie spectrul cîmpului electric.

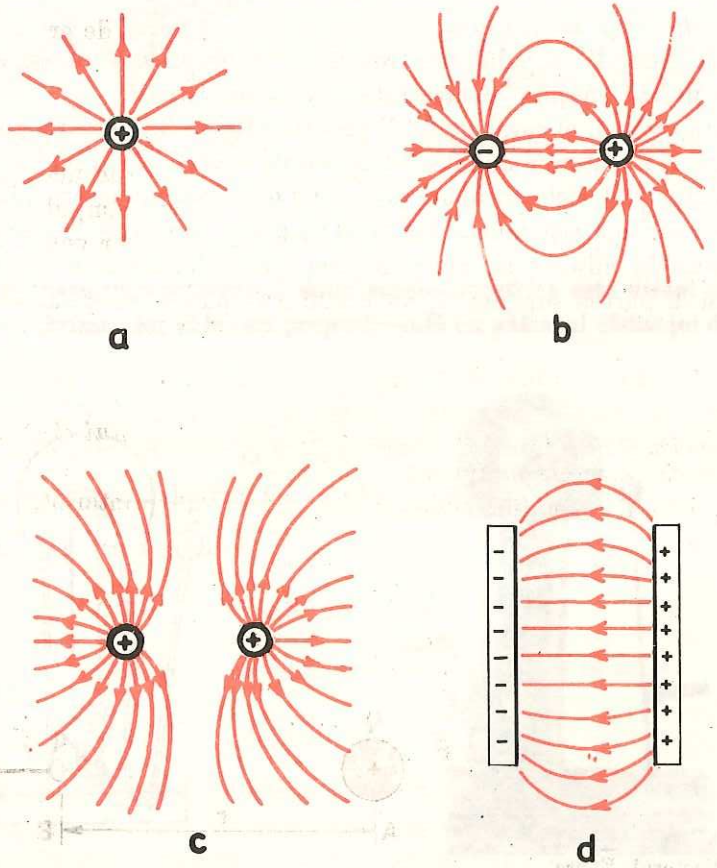


Fig. 3.3. Imagini ale liniilor de cîmp.

Prin convenție, se consideră că liniile de cîmp încep pe corpurile cu sarcină pozitivă și se termină pe cele cu sarcină negativă. Tangenta în fiecare punct al unei linii de cîmp indică direcția forței care acționează asupra sarcinii de probă $+q$.

Forma și distribuția lor în spațiu depind de forma suprafețelor pe care sînt repartizate sarcinile electrice (fig. 3.3 *b*, *d*) și de semnele sarcinilor (fig. 3.3 *b*, *c*).

3.2.2. **Intensitatea cîmpului electric.** Proprietățile cîmpului electrostatic pot fi studiate dacă plasăm în el sarcini punctiforme (corpuri de probă) și observăm forțele care acționează asupra lor.

Să considerăm deci o sarcină pozitivă $+Q$ situată în aer într-un punct fix A și să presupunem că într-un punct B, aflat la distanța r de sarcina Q, se aduc pe rînd corpurile de probă cu sarcinile q_1, q_2, q (fig. 3.4).

Forțele care vor acționa asupra fiecăruia din aceste corpuri vor fi:

$$F_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q \cdot q_1}{r^2}\,; \quad F_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q \cdot q_2}{r^2}\,; \quad F = 9 \cdot 10^9 \frac{Q \cdot q}{r^2}\,.$$

Să facem rapoartele dintre fiecare forță și sarcina corpului de probă corespunzătoare forței:

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \frac{F}{q} = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r^2}\,.$$

Observăm că valoarea acestor rapoarte nu depinde de mărimea sarcinii plasate în cîmp, ci numai de sarcina Q care generează cîmpul și de poziția punctului în cîmp (distanța r). Prin urmare, cu ajutorul lor vom putea caracteriza o proprietate a diferitelor puncte ale cîmpului.

Notăm valoarea acestor rapoarte cu E și deci:

$$E = \frac{F}{q} = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r^2}\,. \qquad (2)$$

Mărimea fizică notată cu E, o numim *intensitate a cîmpului electrostatic* și ea caracterizează punctele cîmpului.

Din relația (2) rezultă și unitatea de măsură pentru intensitatea cîmpului electrostatic:

$$\langle E \rangle_{SI} = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \mathrm{C}}\,.$$

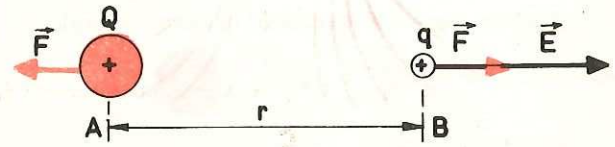


Fig. 3.4. Vectorul $\vec{E}$ are sensul în care se deplasează sarcina pozitivă aflată în cîmp.

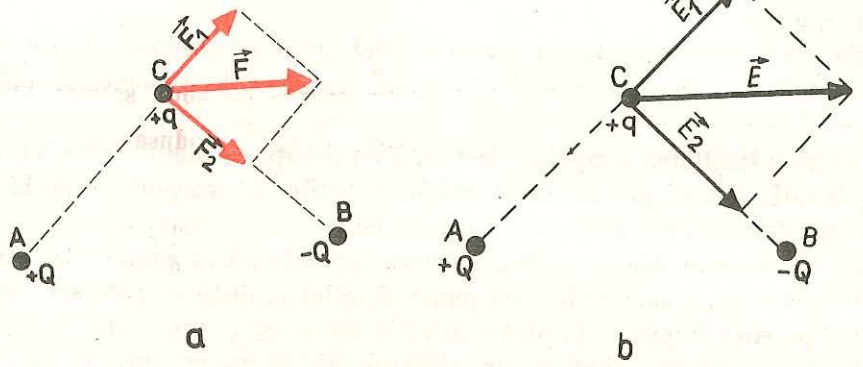


Fig. 3.5. *a)* Corpul de probă cu sarcina q este supus acțiunii simultane a două forțe; *b)* intensitatea cîmpului rezultant produs de două sarcini într-un punct.

Din clasa a VII-a știți că forța este o mărime vectorială, caracterizată deci prin punct de aplicație, direcție, sens și mărime (modul).

Intensitatea cîmpului electrostatic este și ea o mărime vectorială. Relația (2) o putem scrie vectorial astfel:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \tag{3}$$

Vectorul intensitate a cîmpului electrostatic creat de sarcina Q în punctul B este caracterizat de următoarele elemente:

— punctul de aplicație — punctul B;

— direcția: dreapta AB;

— sensul: de la $A \to B$ dacă sarcina Q este pozitivă și de la $B \to A$ dacă sarcina Q este negativă;

— modulul: $E = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{r^2}$.

Să analizăm cazul în care sarcina de probă $+q$ se găsește sub acțiunea simultană a cîmpurilor create de sarcinile $+Q$ și $-Q$ (fig. 3.5, *a*).

Forțele care se exercită asupra ei sînt:

$$\vec{F}_1 = q \cdot \vec{E}_1 \text{ și } \vec{F}_2 = q \cdot \vec{E}_2.$$

Rezultanta lor este:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = q\vec{E}_1 + q\vec{E}_2 = q(\vec{E}_1 + \vec{E}_2).$$

Știți însă că, asupra corpului de probă, cîmpul electrostatic acționează cu o forță $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, deci

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \tag{4}$$

Intensitatea $\vec{E}$ a cîmpului electrostatic produs de două sarcini într-un punct este suma vectorială a intensităților $\vec{E}_1$ și $\vec{E}_2$ produse separat de fiecare din cele două sarcini în punctul respectiv.

Modulul vectorului cîmp electrostatic rezultant, direcția și sensul lui se pot stabili folosind regula paralelogramului de compunere a vectorilor concurenți (fig. 3.5, *b*).

3.3. Potențialul electric

Cîmpul electric poate fi descris nu numai cu ajutorul intensității $\vec{E}$ a cîmpului, ci și cu ajutorul altei mărimi pe care o vom introduce în cele ce urmează.

Să considerăm o sarcină Q aflată într-un punct O și o sarcină de probă q aflată într-un punct A în cîmpul sarcinii Q (fig. 3.6). Presupunem sarcina Q fixă. Pentru a deplasa sarcina q din punctul A într-un punct B, cîmpul electric al sarcinii Q efectuează un anumit lucru mecanic.

Cîtul dintre lucrul mecanic efectuat de cîmp la deplasarea sarcinii de probă între cele două puncte și sarcina de probă q îl vom numi diferență de potențial între punctele A și B și o vom nota $V_A - V_B$.

Prin urmare:

$$V_A - V_B = \frac{L}{q}. \tag{5}$$

Putem alege un punct de referință B unic, pînă la care să se facă deplasarea sarcinii de probă. În electrostatică acest punct de referință se alege la distanță mare de celelalte sarcini (la infinit) și se consideră $V_B = 0$ în acest punct.

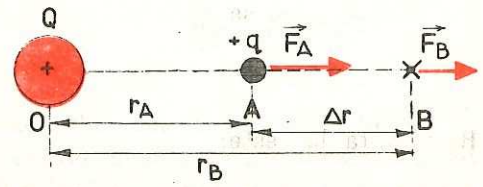


Fig. 3.6. Corpul de probă se deplasează din A în B sub acțiunea cîmpului electric al sarcinii Q.

Atunci punctului A îi va corespunde mărimea:

$$V_A = \frac{L}{q} \qquad (6)$$

numită potențial electric în punctul A.

Potențialul electric într-un punct este o mărime fizică egală cu cîtul dintre lucrul mecanic efectuat de cîmp la deplasarea unui corp de probă încărcat din acel punct la infinit și sarcina corpului de probă.

Ca și intensitatea cîmpului electric, potențialul electric al unui punct depinde numai de sarcina care generează cîmpul și de poziția punctului în raport cu ea. Spre deosebire, însă, de intensitatea cîmpului electric care este un vector, potențialul electric este un scalar, adică o mărime caracterizată numai prin modulul ei. Potențialul va fi pozitiv cînd Q este pozitiv și negativ cînd Q este negativ.

Din relația (5) rezultă:

$$L = q(V_A - V_B). \qquad (7)$$

Diferența de potențial $V_A - V_B$ între două puncte A și B ale unui cîmp electrostatic se numește *tensiune electrică* și se notează cu U. Deci relația (7) se poate scrie:

$$L = qU. \qquad (7')$$

Din relația (6) de definiție a potențialului va rezulta unitatea de măsură atît pentru el, cît și pentru tensiunea electrică:

$$\langle V \rangle_{SI} = \frac{\langle L \rangle_{SI}}{\langle q \rangle_{SI}} = \frac{1\ J}{1\ C} = 1\ V\ \text{(volt)}.$$

Vom spune deci că *într-un punct al cîmpului potențialul este de* 1 V, *dacă pentru transportul unei sarcini de* 1 C *din acel punct la infinit, lucrul mecanic efectuat este de* 1 J.

3.4. Fenomene electrice în atmosferă. Fulgerul. Paratrăsnetul

Printre fenomenele naturale observate și cercetate de om se numără și fenomenele electrice. Primele cercetări fructuoase asupra naturii fenomenelor electrice sînt legate de activitatea lui Benjamin Franklin (1706—1790), remarcabil fizician, filozof și om politic american.

În 1752, pe timpul unei furtuni, acesta a înălțat un zmeu special confecționat și a observat apariția unor scîntei puternice între un inel metalic fixat la capătul frînghiei izolate și pămînt.

Astfel, prin numeroase observații și experiențe a fost evidențiată natura electrică a fulgerelor și trăznetelor.

Astăzi puteți studia natura acestor fenomene în laborator, utilizînd generatorul electrostatic Van de Graaff.

E | **Experimentul 2.** Electrizați puternic cele două sfere ale generatorului prin învîrtirea manivelei acestuia.
Apropiați sferele una de alta la o distanță de cîțiva cm. Veți observa apariția unei scîntei însoțită de o pocnitură.

Apropiați un pendul electrostatic de cele două sfere. Veți constata că cele două sfere au rămas neutre. Această constatare a făcut ca fenomenul observat să fie denumit și descărcare electrică.

Ce sînt fulgerele? Cum se produc ele?

Observații sistematice asupra acestor fenomene au stabilit că fulgerul este o descărcare electrică între partea superioară și cea inferioară a aceluiași nor sau între doi nori situați la înălțimi diferite.

Ele se declanșează pe direcție oblică sau verticală și mai rar pe direcție orizontală.

Studiindu-se repartizarea sarcinilor în nori, s-a constatat că în ansamblu aceștia sînt neutri, dar sarcina electrică este distribuită în 3 moduri posibile ca în figura 3.7.

Apariția sarcinilor electrice în nori, în timpul furtunilor, este legată de producerea unor curenți ascendenți și descendenți, fapt ce determină divizarea picăturilor de apă în particule mici, unele avînd sarcină pozitivă, altele negativă. Se produc astfel, în nor, acumulări de sarcini pozitive și negative. Ten-

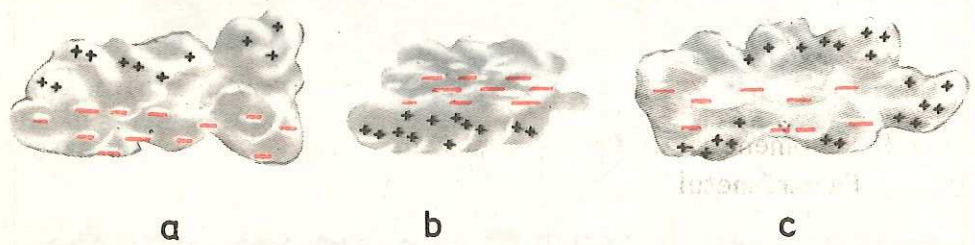


Fig. 3.7. Repartizarea sarcinilor electrice în nori:
a) nor polar pozitiv; *b)* nor polar negativ; *c)* nor tripolar.

dința de unire a acestora e împiedicată de aer care este izolator. În acest fel, puncte diferite ale norului vor avea potențiale electrice diferite. Cînd diferența de potențial ia valori de $10^8 \div 10^9$ V, între cele două extremități, printr-un așa-numit „canal de scurgere" al cărui diametru este de pînă la 50 cm, are loc un transfer de sarcină către norul cu sarcina pozitivă, fenomen numit fulger.

Lungimea lui variază de la cîteva sute de metri la cîțiva kilometri.

O dată cu fulgerul se produce și tunetul care se aude însă mai tîrziu. Explicați voi de ce aceste fenomene, care se produc simultan, sînt recepționate la momente diferite.

Ce este trăznetul și cum se formează el?

Este tot o descărcare electrică ce are loc între partea inferioară a unui nor și un corp de pe suprafața pămîntului. El apare numai pentru norii cei mai apropiați de pămînt, adică acei nori care produc aversele de ploaie.

Observați cu atenție figura 3.8. Prezența sarcinii electrice, la partea inferioară a norului, determină electrizarea prin inducție a zonei terestre situată sub nor. Cînd tensiunea între baza norului și obiectul de pe suprafața pămîntului ajunge la valori apreciabile, se produce o descărcare electrică violentă numită trăznet. Sînt expuse trăznetului, în special, corpurile înalte ca: arborii, turnurile, coșurile de fabrici etc.

Pentru protecția instalațiilor și clădirilor contra efectelor distrugătoare ale trăznetelor, în 1747, B. Franklin a propus folosirea paratrăznetului. El este format dintr-o tijă metalică, avînd partea superioară ascuțită, iar partea

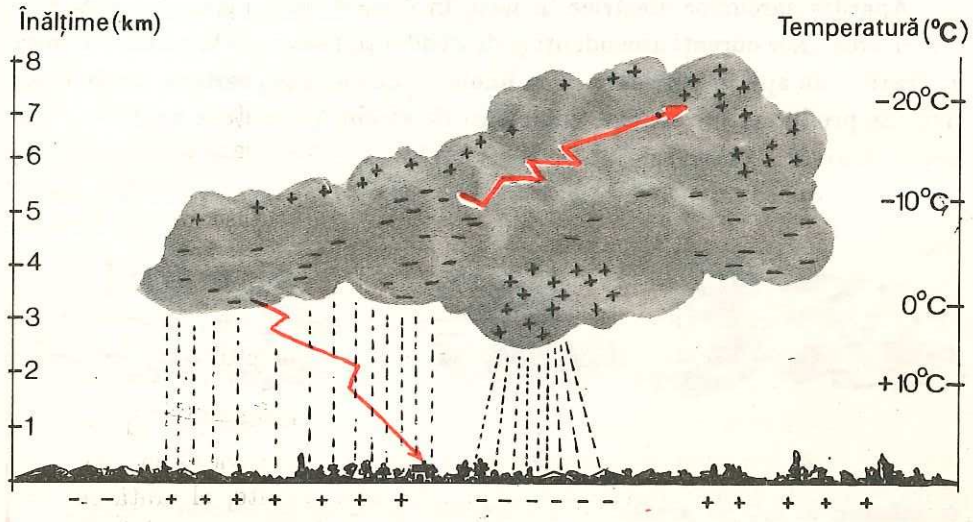


Fig. 3.8. Distribuția sarcinilor electrice într-un nor în timpul unei furtuni.

inferioară în legătură cu o placă de Cu sau oțel îngropată în pămînt la adîncimea de cca 2 m.

Existența vîrfurilor ascuțite face ca, în jurul lor, cîmpul electric să fie foarte intens, fapt ce favorizează schimbul de sarcini electrice între nor și paratrăznet. Acest proces poate fi observat în figura 3.9.

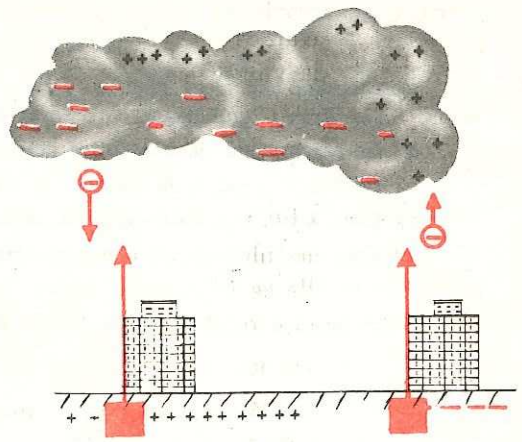


Fig. 3.9. Paratrăznetul.

Rezumat

Forța cu care interacționează două sarcini electrice punctiforme este direct proporțională cu mărimea celor două sarcini *(Q, q)* și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

Sarcinile electrice generează în jurul corpurilor pe care se găsesc *cîmpuri electrice*. Cîmpul electric este o formă de existență a materiei, capabilă să realizeze interacțiuni cu alte corpuri purtătoare de sarcini electrice.

Fiecărui punct al unui cîmp electric i se poate atașa un vector numit *intensitate* a cîmpului electric și un scalar numit *potențial*.

Intensitatea cîmpului electric este o mărime fizică vectorială ce caracterizează orice punct al cîmpului. Ea arată cu ce forță acționează cîmpul asupra unei sarcini de probă de 1 C, aflată în punctul considerat al cîmpului.

Potențialul electric într-un punct al cîmpului este raportul dintre lucrul mecanic efectuat pentru a deplasa o sarcină electrică din acel punct la infinit și mărimea acelei sarcini. Cu alte cuvinte, el arată ce lucru mecanic efectuează cîmpul electric pentru a deplasa o sarcină de probă de 1 C, din acel punct la infinit.

Problemă rezolvată

Considerăm trei sfere mici A, B, C electrizate cu sarcini pozitive și egale ca în figura 3.10. Sfera C acționează cu o forță de $4 \cdot 10^{-6}$ N asupra lui B.

a) Ce sarcină are fiecare dintre cele 3 sfere?

b) Ce forță exercită A asupra lui B?

c) Care este forța rezultantă ce acționează asupra lui B?

d) Care este intensitatea cîmpului rezultant generat de sarcinile din A și C în B? (Sarcinile se află în vid.)

Rezolvare. a) Aplicînd legea lui Coulomb pentru sferele electrizate din B și C obținem:

$$F_{BC} = k \cdot \frac{q^2}{r_{BC}^2}, \text{ unde } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

Din această relație obținem:

$$q^2 = \frac{F_{BC} \cdot r_{BC}^2}{k}, \text{ de unde } q = r_{BC} \cdot \sqrt{\frac{F_{BC}}{k}}.$$

Folosind valorile numerice, obținem:

$$q = 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9}}\ \text{C} = \frac{2}{3} \cdot \frac{10^{-5}}{10^4} \cdot \frac{1}{\sqrt{10}}\ \text{C} \approx 0{,}20 \cdot 10^{-9}\ \text{C}.$$

b) Cunoscînd sarcinile sferelor și distanța dintre ele, putem calcula forța de interacțiune dintre ele:

$$F_{AB} = k \cdot \frac{q^2}{r_{AB}^2} = k \cdot \frac{\frac{F_{BC} \cdot r_{BC}^2}{k}}{r_{AB}^2} = \frac{F_{BC} \cdot r_{BC}^2}{r_{AB}^2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-4}}{\frac{4}{3} \cdot 10^{-4}} = 3 \cdot 10^{-6}\ \text{N}.$$

c) Forța rezultantă ce acționează asupra lui B se determină din compunerea forțelor concurente $\vec{F}_{AB}$ și $\vec{F}_{BC}$ care fac între ele un unghi de 90°. Rezultanta va fi diagonala dreptunghiului. Mărimea ei se determină aplicînd teorema lui Pitagora:

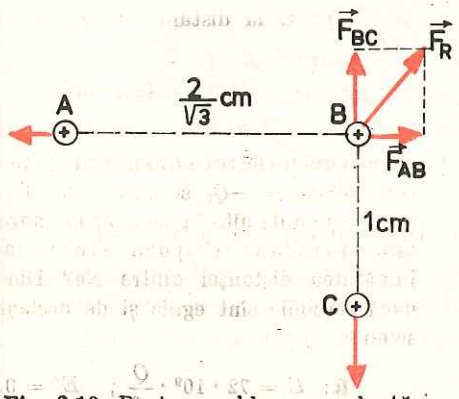


Fig. 3.10. Pentru problema rezolvată.

$$F_R = \sqrt{F_{AB}^2 + F_{BC}^2} =$$

$$= \sqrt{9 \cdot 10^{-12} + 16 \cdot 10^{-12}}\ \text{N} = 5 \cdot 10^{-6}\ \text{N}.$$

d) În punctul B, sarcina A determină un cîmp de intensitate:

$$E_A = k \cdot \frac{q}{r_{AB}^2} =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0{,}20 \cdot 10^{-9} \cdot 3}{4 \cdot 10^{-4}} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1{,}35 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

În același punct sarcina C determină un cîmp de intensitate:

$$E_C = k \cdot \frac{q}{r_{BC}^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0{,}20 \cdot 10^{-9}}{10^{-4}} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1{,}80 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Cîmpul rezultant va avea intensitatea:

$$E_r = \sqrt{E_A^2 + E_C^2} = \sqrt{1{,}8 \cdot 10^8 + 3{,}24 \cdot 10^8} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 2{,}25 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Întrebări. Probleme

1. Cum se modifică mărimea forței electrostatice (coulombiene), dacă distanța dintre două sarcini electrice identice se reduce la jumătate?

R: crește de 4 ori.

2. Două sarcini electrice Q_1 și Q_2 ($Q_1 > Q_2$) se găsesc la distanța r una de alta. Asupra căreia din ele se exercită o forță mai mare?

3. Două sfere electrizate cu sarcini egale, situate în vid la distanța de 10 cm una de alta, interacționează cu o forță de 0,1 N. Aflați sarcina electrică a uneia din sfere.

R: $\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$ C.

4. Trei corpuri punctiforme electrizate sînt dispuse ca în figura 3.11. Corpurile A și C sînt fixe, iar B este mobil. Sarcinile sînt $q_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ C și $q_3 = 9 \cdot 10^{-6}$ C. Stabiliți sensul mișcării sarcinii q_2 în momentul cînd este lăsată liberă.

5. Cît de mare este forța de atracție între protonul și electronul atomului de hidrogen știind că distanța dintre ele este $r = \frac{0{,}53}{10^{10}}$ m, iar sarcina electronului $e = -\frac{1{,}6}{10^{19}}$ C?

R: $\simeq 8{,}2 \cdot 10^{-8}$ N.

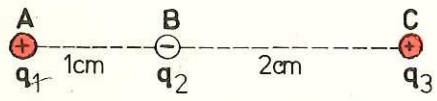


Fig. 3.11. Pentru problema 4.

6. Cum se modifică intensitatea cîmpului electrostatic creat de sarcina Q într-un punct, dacă valoarea ei se mărește de 3 ori?

R: intensitatea cîmpului crește de 3 ori.

7. Într-un punct fix situat la distanța r de un corp punctiform electrizat, cîmpul electrostatic are intensitatea E. În ce punct valoarea intensității cîmpului scade de 4 ori?

R: într-un punct situat la distanța $2r$.

8. Ce valoare are intensitatea cîmpului electrostatic creat de sarcina $Q = 4 \cdot 10^{-6}$ C la distanța de 2 cm în vid?

R: $9 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$.

9. Două sarcini electrice egale și de semne contrare $Q_1 = -Q_2$ se găsesc la distanța r una de alta în vid. Cît de mare este intensitatea cîmpului electric la jumătatea distanței dintre ele? Dar dacă sarcinile sînt egale și de același semn?

R: $E = 72 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{r^2}$; $E' = 0$.

10. Între două plăci plane și paralele electrizate cu sarcini egale și de semn contrar (Q), cîmpul electric este uniform, adică intensitatea este aceeași în orice punct al său.
Ce puteți spune despre mărimea forței cu care un corp cu sarcina $+q$ este acționat în orice punct al unui astfel de cîmp?

11. Ce lucru mecanic se efectuează pentru a deplasa sarcina $q = 6 \cdot 10^{-6}$ C între două puncte A și B ale unui cîmp electric, punctele avînd potențialele $V_A = 100$ V și $V_B = 25$ V? Ce tensiune electrică există între cele două puncte ale cîmpului?

R: $L = 4{,}5 \cdot 10^{-4}$ J; $U = 75$ V.

12. Stabiliți relația matematică între modulul intensității cîmpului electrostatic într-un punct și potențialul electric al aceluiași punct.

13. Este corectă relația $\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{C}} = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{m}}$?
Dar 1 C · 1 V = 1 J?

14. Potențialele electrice a două puncte sînt:

a) $V_A = +10$ V; $V_B = -5$ V;
b) $V_A = +20$ V; $V_B = -20$ V;
c) $V_A = +30$ V; $V_B = +5$ V;
d) $V_A = +5$ V; $V_B = 0$ V;
e) $V_A = 0$ V; $V_B = -3$ V.

Cît de mare este, în fiecare caz, diferența de potențial între punctele date?

R: 15 V; 40 V; 25 V; 5 V; 3 V.

15. Pentru a scoate dintr-un punct A al unui cîmp electrostatic sarcina $q = 3 \cdot 10^{-6}$ C, se efectuează un lucru mecanic de $9 \cdot 10^{-4}$ J.
Ce potențial electric are punctul A al cîmpului?

R: $V_A = 300$ V.

16. Diferența de potențial între două extremități ale unui nor este de 10^9 V, iar sarcina medie care se scurge în timpul descărcării este de cca 15 C.
Ce lucru mecanic se efectuează în timpul descărcării electrice?

R: $15 \cdot 10^9$ J.

17. De ce nu se recomandă ca în timpul furtunilor să ținem în mînă obiecte metalice?

18. După un fulger, tunetul s-a auzit la un interval de 5 s. Știind că viteza sunetului în aer este de 340 m/s, aflați distanța dintre observator și locul producerii fulgerului.

R: 1,7 km.

4.

Curentul electric. Rețeaua electrică

În fenomenele studiate pînă acum, sarcina electrică era în repaus. În cele ce urmează, ne vom ocupa de fenomenele ce se produc în cazul în care purtătorii de sarcină electrică se află în mișcare.

4.1. Producerea curentului electric

În experimentele de electrostatică, pentru obținerea unor sarcini electrice apreciabile, ați utilizat generatorul Van de Graaff. Cele două sfere, numite și poli ai generatorului, acumulează sarcini pozitive și negative, căpătînd deci potențiale diferite.

Pentru început vă sugerăm efectuarea următorului experiment:

E | **Experimentul 1.** Puneți în contact sfera mare (colector) a generatorului cu discul unui electroscop ca în figura 4.1. Încărcați generatorul prin învîrtirea manivelei și observați poziția acului mobil al electroscopului. Puneți în contact cei doi poli prin intermediul unei tije metalice, avînd la capete două mici sfere, iar la mijloc un mîner izolator (dispozitiv numit descărcător). Observați mișcarea acului mobil al electroscopului.

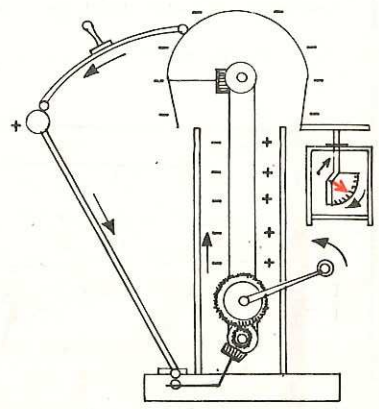


Fig. 4.1. Descărcarea generatorului electrostatic Van de Graaff, cu ajutorul unui descărcător.

Se constată o descărcare rapidă a generatorului. Cum explicăm cele observate? Prin încărcarea generatorului, între polii lui se creează un cîmp electric intens. Tensiunea electrică dintre ei devine apreciabilă. Cînd realizăm contactul, prin tija metalică are loc un transfer de electroni de pe polul negativ pe cel pozitiv pînă la neutralizarea completă a sarcinilor pozitive. În acest caz tensiunea dintre poli devine nulă.

Mișcarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică se numește curent electric.

Curentul electric se menține printr-un mediu conductor, atît timp cît există o tensiune electrică la capetele lui.

Cum am putea menține curentul electric prin tija descărcătorului? Desigur prin învîrtirea continuă a manivelei generatorului, adică prin menținerea unei tensiuni electrice între polii lui. Experimentul analizat ne-a sugerat o posibilitate de a produce curent electric.

În prezent știința și tehnica dispun de numeroase procedee de a produce curent electric. Vă propunem realizarea a două experimente prin care vom evidenția astfel de procedee. Prezența curentului o vom pune în evidență cu ajutorul unui aparat pe care îl aveți în trusa de fizică numit voltampermetru.

E **Experimentul 2.** Introduceți într-un pahar Berzelius două plăcuțe, una din Cu și alta din Zn (numite și electrozi), apoi turnați în vas apă acidulată cu H_2SO_4. Prin două conductoare, puneți în legătură cei doi electrozi cu bornele 0 și 2 A ale voltampermetrului (fig. 4.2). Observați deviația acului indicator al aparatului.

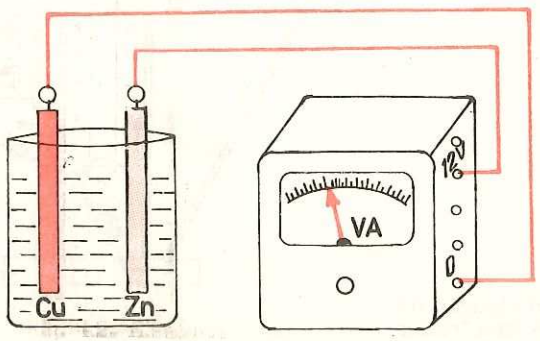


Fig. 4.2. Elementul Volta.

E **Experimentul 3.** Prin două fire conductoare puneți în legătură bobina din trusă cu bornele 0—10 mA ale voltampermetrului. Introduceți și scoateți din interiorul bobinei un magnet în formă de bară. Observați mișcarea acului indicator al aparatului, încercînd să stabiliți în ce condiții apare acest curent electric.
Introduceți și scoateți magnetul la intervale egale de timp urmărind deplasarea acului indicator față de diviziunea zero a aparatului.
Ce deosebire sesizați, în legătură cu modul în care deviază acul, în cazul experimentului 2 și în cel din experimentul 3?

4.2. Generatoare de energie electrică. Tipuri de generatoare

4.2.1. **Tipuri de generatoare.** Știți că trecerea curentului electric printr-un conductor este condiționată de existența unei tensiuni la capetele lui.

Dispozitivele care au rolul de a crea și menține această tensiune între cei doi poli ai lor sînt generatoarele electrice. Generatoarele electrice transformă o energie oarecare, numită și energie primară, în energie electrică. Avînd drept criteriu de clasificare energia transformată în energie electrică, generatoarele electrice pot fi:

— elemente galvanice și acumulatoare electrice — dispozitive care transformă energia chimică în energie electrică;

— dinamuri și alternatoare — dispozitive care transformă energia mecanică în energie electrică;

— termoelemente — dispozitive care transformă energia termică în energie electrică;

— fotoelemente — dispozitive care transformă energia luminoasă în energie electrică.

Vom prezenta, în continuare, elementele galvanice și acumulatoarele electrice.

E **Experimentul 4.** Într-un vas Berzelius, introduceți doi electrozi (două plăcuțe metalice) unul din Cu și altul din Zn. Prin două conductoare metalice puneți în contact electrozii cu bornele 0—12 V ale unui voltampermetru. Turnați cu multă atenție în vas o soluție apoasă de H_2SO_4. Observați atît indicația aparatului cît și suprafața electrodului de cupru.

Voltampermetrul va indica o tensiune de circa un volt (1 V), iar la electrodul de Cu se observă bule de gaz (hidrogen) care se degajă. Acest fenomen numit polarizare a electrodului are ca efect micșorarea tensiunii pînă la 0 V. Elementul galvanic pe care l-ați realizat se numește element Volta.

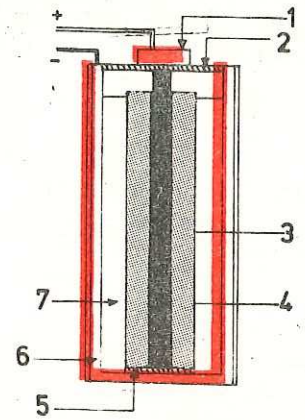


Fig. 4.3. Elementul Leclanché:
(1) contact metalic; (2) izolator; (3) electrod de grafit; (4) MnO_2; (5) izolator; (6) cilindru de zinc; (7) NH_4Cl și glicerină.

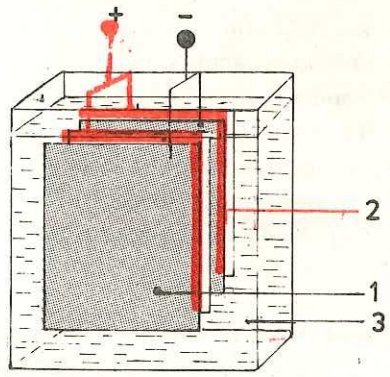


Fig. 4.4. Acumulatorul cu plăci de plumb:
(1) plăci cu PbO_2; (2) plăci cu sulfat de plumb; (3) soluție de acid sulfuric.

În figura 4.3 este prezentat elementul Leclanché, pe care l-ați întîlnit cînd ați folosit baterii de 1,5 V sau ați demontat baterii de 4,5 V. Acestea folosesc doi electrozi, unul din grafit (C) și celălalt din zinc (Zn), iar ca soluție conductoare (electrolit) pasta sau soluția de clorură de amoniu (NH_4Cl).

Pentru evitarea fenomenului de polarizare, electrodul de grafit se introduce într-un săculeț de in, umplut cu dioxid de mangan (MnO_2).

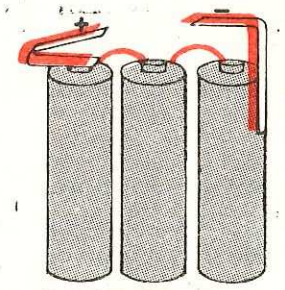


Fig. 4.5. Gruparea a 3 elemente Leclanché într-o baterie.

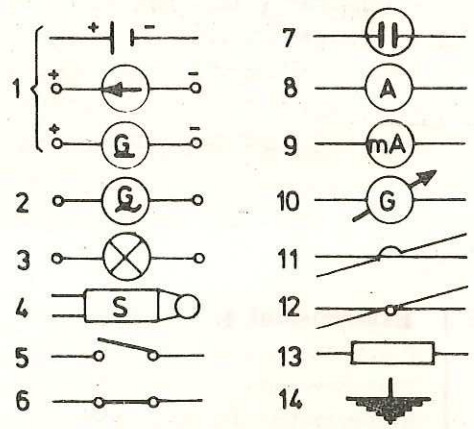
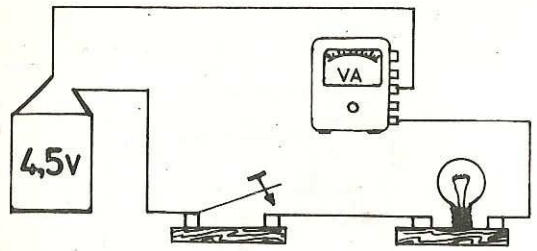
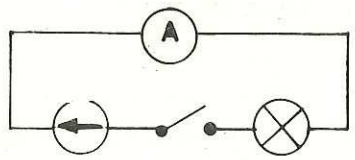


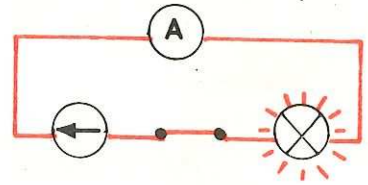
Fig. 4.6. Semne convenționale utilizate pentru elementele unui circuit:
(1) generator de curent continuu; (2) generator de curent alternativ; (3) bec electric; (4) sonerie; (5) întrerupător deschis; (6) întrerupător închis; (7) electrolizor; (8) ampermetru; (9) miliampermetru; (10) galvanometru; (11) încrucișare a două conductoare fără contact electric; (12) încrucișare a două conductoare cu contact electric; (13) conductor metalic; (14) legătură cu pămîntul.



a



b



c

Fig. 4.7. *a)* Circuit electric. *b)* Schema circuitului electric deschis. *c)* Schema circuitului electric închis.

Un interes deosebit pentru activitatea practică îl prezintă acumulatoarele. *Acumulatorul cu plumb* este constituit din plăci de Pb introduse în soluție de H_2SO_4 (fig. 4.4) și furnizează o tensiune de 2 V.

Acumulatorul cu fier-nichel folosește ca electrolit o soluție apoasă de KOH. În timp ce debitează curent, tensiunea generată ajunge la 1,4 V.

Grupînd aceste generatoare în mod convenabil, se pot obține baterii de acumulatoare. În figura 4.5 vă este prezentat unul dintre modurile în care pot fi legate 3 elemente Leclanché.

4.2.2. **Reprezentarea prin semne convenționale a unui circuit electric.** În alcătuirea circuitelor electrice intră și aparate care „consumă" energia furnizată de generator, adică realizează transformarea energiei electrice într-o altă sau alte forme de energie. Aceste aparate sînt numite receptoare. Un bec, o sonerie, un reșou, un radioreceptor, un televizor, un motor electric sînt numai cîteva dintre receptoarele frecvent întîlnite.

Pentru reprezentarea lor în circuite electrice se utilizează semne convenționale. Unele dintre ele sînt prezentate în figura 4.6.

Utilizînd aceste semne, circuitul electric din figura 4.7, *a*, poate fi reprezentat schematic ca în figurile 4.7, *b* și *c*.

E **Experimentul 5.** Utilizînd o baterie sau priza de pe mesele de laborator, un bec de 3,5 V, un întrerupător, un voltampermetru și fire de legătură, realizați circuitul din figura 4.7, *b*. Apăsați pe butonul întrerupătorului și apoi eliberați-l.

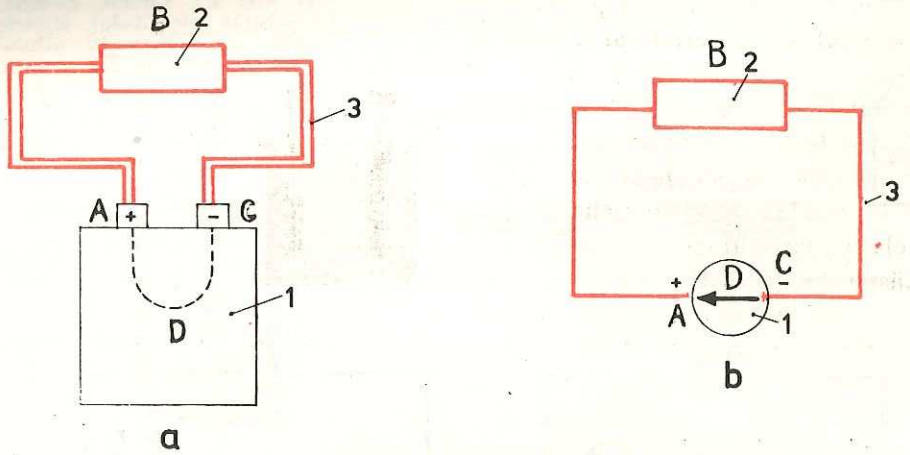


Fig. 4.8. *a)* Circuitul electric: (1) generator, (2) consumator, (3) conductoare de legătură; *b)* reprezentarea simplificată a circuitului.

Veţi observa aprinderea becului şi deviaţia acului indicator al aparatului de măsură. În acest caz, spunem că circuitul este închis (fig. 4.7, *c*).

Porţiunea de circuit aflată în interiorul generatorului se numeşte circuit interior *CDA*, iar porţiunea din exterior se numeşte circuit exterior *ABC* (fig. 4.8, *a* şi *b*).

4.3. Efectele curentului electric

Trecerea curentului electric prin circuitele electrice este însoţită de apariţia unor fenomene cărora le spunem efecte ale curentului electric.

În cele ce urmează ne vom opri asupra esenţei acestor efecte pe baza unor experimente simple, urmînd ca ulterior să stabilim legile ce le guvernează.

4.3.1. **Efectul electrotermic.** Încă din anul 1801, Davy a observat că, unind polii unei baterii de elemente Volta printr-un fir subţire de platină, acesta se poate încălzi pînă devine incandescent. Astăzi ştiţi că lumina emisă de un bec electric este datorată încălzirii pînă la incandescenţă a filamentului, ca urmare a trecerii curentului electric prin el.

E **Experimentul 6.** Realizaţi un circuit format dintr-un alimentator didactic (sau baterie de 4,5 V), un întrerupător şi firul de nichelină spiralat fixat pe un suport. Alimentaţi circuitul la tensiunea de 2—4 V curent continuu (V_{cc}) şi închideţi întrerupătorul. Atingeţi firul spiralat cu degetele, precum şi picioruşele pe care se sprijină. Veţi constata că firul se încălzeşte, iar picioruşele nu se încălzesc sensibil. Întrerupeţi circuitul şi veţi constata că degajarea căldurii încetează.

În acest experiment am pus în evidenţă efectul electrotermic al curentului electric:

la stabilirea curentului electric printr-un conductor, acesta se încălzeşte.

De ce sesizăm degajarea de căldură numai în conductorul de nichelină, iar în celelalte porţiuni ale circuitului nu?

Răspunsul îl veţi putea da singuri, mai tîrziu, după ce se vor stabili mărimile fizice care condiţionează căldura degajată.

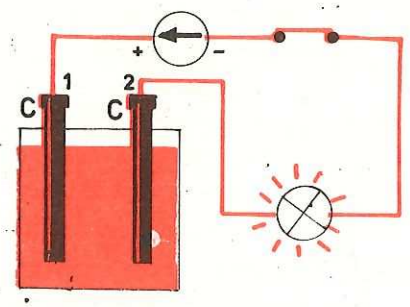


Fig. 4.9. Dispozitiv experimental pentru demonstrarea conductibilităţii electrice a soluţiilor.

4.3.2. **Efectul electrochimic.** Vă sugerăm efectuarea următorului experiment:

E **Experimentul 7.** Realizaţi circuitul din figura 4.9, folosind un generator de tensiune continuă (4—6 V_{cc}), un bec, doi electrozi de grafit (*C*) introduşi într-un vas Berzelius cu apă distilată sau potabilă, un întrerupător şi conductoare de legătură. Introduceţi în apă cîteva cristale de $CuSO_4$ şi închideţi circuitul. Veţi constata aprinderea filamentului, iar după cîteva minute veţi observa că, pe electrodul negativ numit şi catod, s-a depus un strat foarte subţire de cupru, în timp ce la electrodul pozitiv numit şi anod se degajă bule de gaz. Schimbaţi polaritatea electrozilor, inversînd legăturile la generatorul de tensiune şi observaţi din nou suprafeţele celor doi electrozi.

Soluţiile apoase ale unor substanţe (săruri, acizi, baze) sînt conductoare şi se numesc electroliţi.

La trecerea curentului prin electroliţi au loc pe electrozi depuneri de substanţe şi degajări de gaze.

Acesta este efectul electrochimic al curentului electric care va fi studiat mai detaliat în capitolul 5.

4.3.3. **Efectul magnetic**

E **Experimentul 8.** Realizaţi circuitul din figura 4.10, *a*, aşezînd porţiunea *MN* a firului conductor paralelă cu un ac magnetic. Conectaţi circuitul la alimentatorul reglat pentru 2 V_{cc}. Închizînd circuitul, veţi observa deviaţia acului de la poziţia iniţială (fig. 4.10, *b*). Deschideţi circuitul. Se observă revenirea acului la poziţia iniţială.

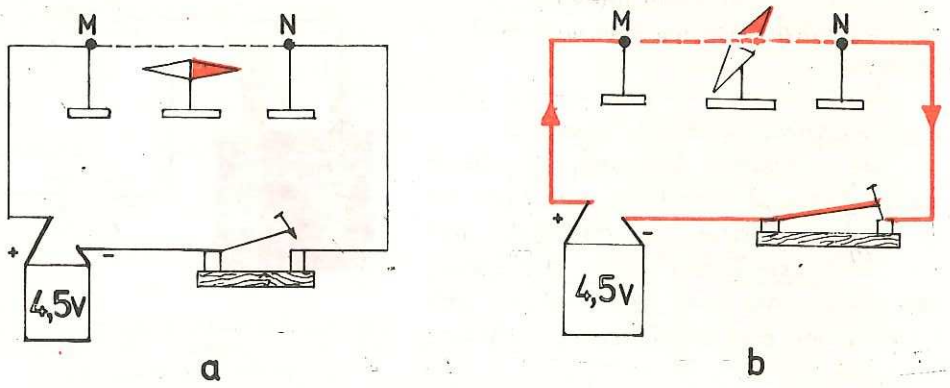


Fig. 4.10. Acul magnetic deviază de la direcția $N-S$, în apropierea unui conductor parcurs de curent.

Deviația acului magnetic la stabilirea curentului prin conductor pune în evidență efectul magnetic al curentului electric.

E **Experimentul 9.** Realizați circuitul electric din figura 4.11, *a*, așezînd bobina cu axa perpendiculară pe axa acului magnetic. Închideți circuitul. Veți observa deviația acului magnetic astfel încît acesta se îndreaptă cu un pol către bobină (fig. 4.11, *b*). Întrerupeți circuitul. Acul magnetic revine la poziția inițială. Dacă inversați legăturile la bornele bateriei, veți observa că același capăt al bobinei atrage celălalt pol al acului magnetic.

În experimentele 7 și 9 ați putut constata că la inversarea legăturilor la generatorul de tensiune fenomenele observate își schimbă sensul desfășurării.

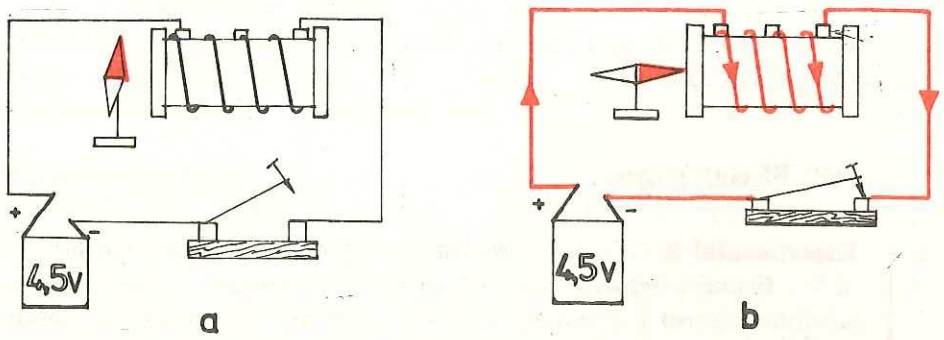


Fig. 4.11. O bobină parcursă de curent deviază un ac magnetic aflat în vecinătate.

Astfel la electrodul unde inițial s-a depus cupru după schimbarea polarității circuitului se vor degaja bule de gaz, iar pe electrodul unde inițial s-a degajat un gaz după inversarea legăturilor s-a depus cupru.

În experimentul 9, inversarea legăturilor la bornele bateriei a determinat modificarea interacțiunii dintre un capăt al bobinei și polul acului magnetic.

Aceste observații și altele de aceeași natură au determinat alegerea unui sens al curentului electric.

Prin convenție se consideră ca sens al curentului electric în circuitul exterior sensul în care se mișcă purtătorii de sarcină pozitivă.

Astfel, în circuitul exterior, sensul curentului va fi de la borna + a generatorului la borna —, iar în circuitul interior de la borna — la borna +.

În experimentul 2 de la acest capitol, ați constatat că acul indicator al aparatului deviază numai într-un sens, iar în experimentul 3, ați constatat că, la mișcarea magnetului în bobină, acul se mișcă de o parte și de alta a poziției de echilibru (poziția „0").

În primul caz curentul și-a menținut sensul, de aceea el a fost numit curent continuu (prescurtat c.c.).

În cel de-al doilea (experimentul 3), curentul și-a schimbat sensul după un anumit interval de timp, ceea ce a făcut ca el să fie numit curent alternativ (notat prescurtat c.a.).

4.4. Intensitatea curentului electric. Măsurarea prin efecte. Unitatea de măsură

În cele ce urmează veți studia unele mărimi fizice care caracterizează fie curenții electrici, fie elemente ale circuitelor electrice. Vom folosi o analogie formală între o instalație prin care este pompată apa și un circuit electric străbătut de curent.

E **Experimentul 10.** Realizați instalația și montajul din figura 4.12, *a* și *b*. Pentru montarea instalației, uniți printr-un tub de cauciuc pompa *P* cu roata hidraulică sau turbina *T*.

Apa din turbină o veți colecta și evacua în paharul de unde pompa o va aspira. Pentru punerea în funcțiune a instalației acționați mînerul pompei ridicînd și coborînd pistonul. Realizați acum și montajul din figura 4.12, *b* în care reglați alimentatorul (*G*) pentru tensiunea de 12 V_{cc}. Uniți printr-un conductor scurt o bornă a periilor cu o bornă a excitației, iar bornele rămase libere puneți-le în legătură prin două conductoare cu alimentatorul. La închiderea circuitului veți observa funcționarea motorului (*M*).

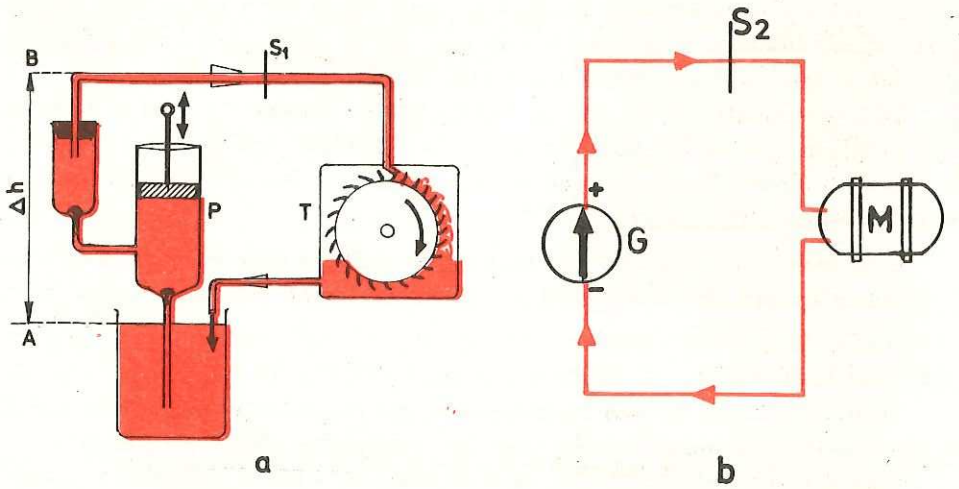


Fig. 4.12. *a)* Instalație prin care circulă apa; *b)* circuit prin care trece curentul electric.

Să analizăm fenomenele din cele două instalații. În prima, pompa ridică apa de la nivelul A la nivelul B, mărindu-i energia potențială. Astfel lucrul mecanic efectuat asupra pompei determină creșterea energiei potențiale a sistemului apă-Pământ. În turbină se realizează o transformare a energiei potențiale în energia cinetică de rotație.

În a doua, energia electrică furnizată de generatorul de tensiune se transformă, în motorul M, în energie cinetică.

Să considerăm două secțiuni S_1 și S_2 în cele două instalații. Prin secțiunea S_1 trece în timpul t, o cantitate de apă a cărei masă să presupunem că este m. Știți de la geografie că masa de apă ce trece printr-o secțiune transversală a albiei unui rîu în unitatea de timp se numește *debit*. Deci prin secțiunea S_1, debitul de apă va putea fi determinat prin relația:

$$D = \frac{m}{t}.$$

Prin secțiunea S_2, în timpul t, va trece un număr de electroni, transportînd o sarcină totală q. Deci, în unitatea de timp, prin secțiunea transversală a conductorului, va trece o sarcină electrică a cărei valoare este dată de raportul dintre sarcina q și timpul t.

Se numește intensitate a curentului electric, mărimea fizică ce exprimă sarcina electrică transportată printr-o secțiune transversală a conductorului în unitatea de timp.

Așadar:

$$I = \frac{q}{t}.$$

În relația anterioară, sarcina totală q este $q = n \cdot e$, unde n este numărul electronilor ce trec în timpul t prin secțiunea conductorului, iar e este sarcina unui electron.

Unitatea de măsură a intensității este amperul (simbol A). Denumirea a fost dată în cinstea fizicianului A.M. Ampère (1775—1836).

$$\langle I \rangle_{SI} = \frac{\langle q \rangle_{SI}}{\langle t \rangle_{SI}} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} = 1 \text{ A}.$$

Un curent are intensitatea de 1 A, *atunci cînd printr-o secțiune transversală a conductorului trece o sarcină de* 1 C *în timp de* 1 s.

Pentru curenți cu intensități mai mici se folosesc submultiplii amperului:

$$1 \text{ mA} = 0{,}001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A},$$

$$1 \ \mu\text{A} = 0{,}000001 \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}.$$

Măsurarea intensității curentului. Știți că măsurarea unei mărimi fizice presupune compararea acelei mărimi cu alta de aceeași natură, pe care ne-am ales-o ca unitate.

În cele ce urmează, vom prezenta un criteriu experimental cu ajutorul căruia putem compara intensitățile curenților electrici.

E **Experimentul 11.** *a)* Realizați dispozitivul din figura 4.13, *a*. Pentru aceasta conectați bobina cu miez de fier în serie cu generatorul reglat pentru 8—10 V_{cc}, întrerupătorul și un bec de 6,3 V. Alăturat, montați stativul de care suspendați resortul cu tija pentru discuri crestate plasînd-o deasupra miezului. Închideți circuitul și notați pe riglă diviziunea pînă la care s-a deplasat plăcuța de la baza tijei.

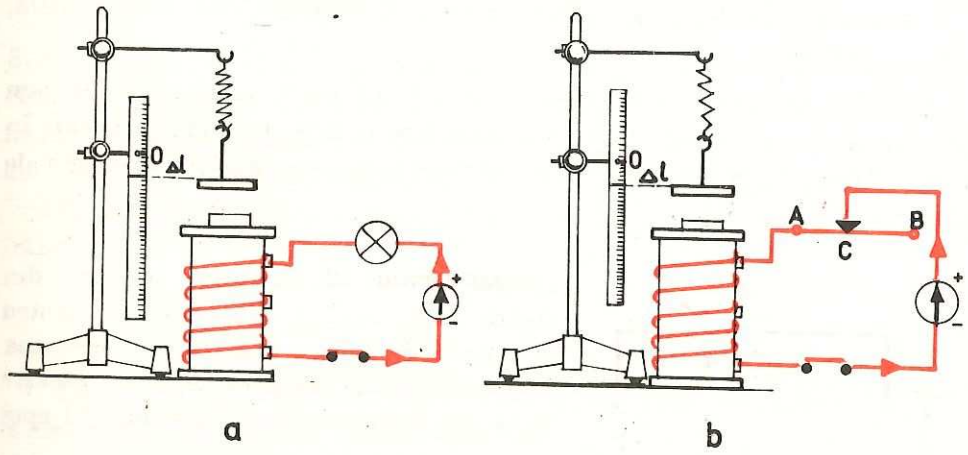


Fig. 4.13. Intensitățile curenților în cele două circuite sînt egale, deoarece magnetizează la fel de mult miezul bobinei.

E *b)* Înlocuiți becul cu un fir de nichelină cu diametrul 0,2 mm și circa 1 m lungime, avînd capetele fixate pe 2 suporți izolatori. Unul din capete (A) puneți-l în legătură cu o bornă a bobinei, iar celălalt (B) lăsați-l liber. Cu un conductor metalic faceți legătura între o bornă a generatorului și un punct oarecare de pe fir. Obțineți astfel un contact mobil (cursor) ca în figura 4.13, *b*. Închideți circuitul și deplasați cursorul pînă cînd baza tijei ajunge în dreptul aceleiași diviziuni de pe riglă ca la punctul *a*.

După cum ați constatat, atît în experimentul 11, *a*, cît și în experimentul 11, *b*, baza tijei ajunge în dreptul aceleiași diviziuni de pe riglă. Dar deplasarea tijei este determinată de atracția exercitată de bobină, care la rîndul ei este condiționată de magnetizarea miezului bobinei.

Deci, în cele două cazuri, efectul produs, respectiv magnetizarea miezului bobinei, este identic; spunem că intensitățile curenților sînt egale. Dacă veți deplasa cursorul către capătul A, tija va fi atrasă mai mult. În acest caz spunem că curentul are o intensitate mai mare. Am stabilit deci un criteriu experimental de comparare a intensităților curenților electrici.

În practică măsurarea intensității o realizăm cu aparate numite ampermetre. Funcționarea lor se bazează pe efectul magnetic sau termic al curentului electric și este descrisă în paragraful 6.9.

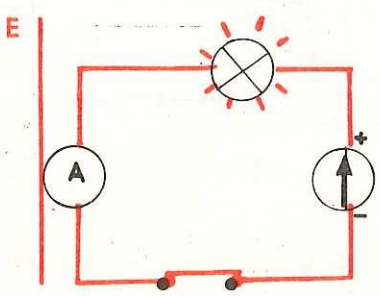
Pe scala aparatului veți remarca gradații, precum și o serie de simboluri care se referă la:

— unitatea de măsură (A, mA, μA);

— tipul de curent la care trebuie folosit aparatul (= pentru curent continuu, ~ pentru curent alternativ);

— poziția de lucru a aparatului (— verticală, — orizontală, — oblică).

Pentru măsurarea intensității se procedează astfel: se întrerupe într-un punct circuitul și se conectează cele două fire la bornele ampermetrului. În acest fel spunem că ampermetrul a fost legat în serie cu celelalte elemente ale circuitului.



Experimentul 12. Realizați circuitul din figura 4.14, reglînd alimentatorul pentru tensiunea de 2 V_{cc}. Măsurați intensitatea curentului, cînd ampermetrul se găsește între bec și întrerupător. Introduceți-l apoi

Fig. 4.14. Conectarea ampermetrului în circuit.

între bec și alimentator sau între alimentator și întrerupător. Observați de fiecare dată intensitatea curentului.

Intensitatea curentului este aceeași în orice punct al unui circuit electric simplu.

4.5. Tensiunea electrică. Unitatea de măsură. Tensiunea electromotoare

În paragraful anterior vi s-a sugerat o analogie între instalația prin care circulă apa și un circuit electric. Rolul pompei din prima instalație îl are, în cea de-a doua, generatorul electric. În timp ce pompa realizează diferența de înălțime între punctele A și B, generatorul realizează o diferență de potențial între cele două borne ale sale. Cîmpul electric generat de sursă va efectua un lucru mecanic pentru deplasarea sarcinii totale q, atît în circuitul exterior cît și în cel interior. Matematic acest lucru îl putem exprima prin relația:

$$L_{tot.} = L_{ex.} + L_{int.} \qquad (1)$$

Dacă vom determina lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unității de sarcină electrică, va trebui să calculăm rapoartele L/q. Deci:

$$\frac{L_{tot.}}{q} = \frac{L_{ex.}}{q} + \frac{L_{int.}}{q}. \qquad (2)$$

Știți însă că raportul L/q reprezintă tensiunea electrică între două puncte ale cîmpului electric. În cazul circuitelor electrice cîmpul electric este „ghidat" în interiorul conductoarelor astfel încît vom vorbi de tensiuni între puncte ale circuitelor electrice.

Lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unității de sarcină de-a lungul întregului circuit îl numim *tensiune electromotoare* și îl notăm cu

$$E = \frac{L_{tot.}}{q}. \qquad (3)$$

Lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unității de sarcină electrică în circuitul exterior îl numim cădere de tensiune pe circuitul exterior sau *tensiune la bornele generatorului:*

$$U_b = \frac{L_{ex.}}{q}. \qquad (4)$$

Lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unității de sarcină în circuitul interior îl numim cădere de tensiune în interiorul sursei sau *tensiune interioară:*

$$u = \frac{L_{int.}}{q}. \qquad (5)$$

Introducînd relațiile (3), (4), (5) în relația (2), obținem:

$$E = U_b + u. \qquad (6)$$

Unitatea de măsură pentru tensiunea electrică este voltul (simbol V):

$$\langle U \rangle_{SI} = 1 \text{ V}.$$

Denumirea a fost dată în cinstea fizicianului Alessandro Volta.

Între două puncte ale unui circuit, spunem că există o tensiune de 1 V, *dacă pentru transportul unei sarcini de* 1 C *cîmpul electric efectuează un lucru mecanic de* 1 J.

De ce este necesară introducerea acestei noi mărimi electrice? Știți că într-un circuit simplu (fără ramificații) intensitatea este aceeași în orice punct al său. Deci din punctul de vedere al acestei mărimi nu se pot diferenția între ele diferitele porțiuni ale circuitului. Acest lucru devine posibil atașînd fiecărei porțiuni mărimea pe care am numit-o tensiune.

Măsurarea tensiunii se realizează cu aparatele numite *voltmetre*, pe care le vom conecta în paralel cu elementele circuitului. Voltmetrele pe care le veți folosi în continuare sînt voltampermetrele din trusă, pe care le veți introduce în circuit prin bornele 0—12 V sau 0—24 V.

E **Experimentul 13.** *a)* Realizați circuitul din figura 4.15, reglînd alimentatorul pentru 6—10 V_{cc}. Măsurați tensiunea la bornele *M* și *N* ale generatorului cînd circuitul este deschis. Valoarea găsită reprezintă tensiunea electromotoare a generatorului. Închideți circuitul și citiți din nou tensiunea la borne U_b.

Din relația (6) rezultă că, făcînd diferența $E - U_b$, veți obține căderea de tensiune în interiorul generatorului *u:*

$$u = E - U_b. \qquad (6')$$

E *b)* Conectați acum voltmetrul la bornele *A*, *B* și apoi la bornele *B*, *C* și citiți valorile U_1 și U_2 indicate de el. Acestea reprezintă căderile de tensiune pe primul și al doilea bec.

Veți constata că există relația:

$$U_b = U_1 + U_2. \qquad (7)$$

E *c)* Scoateți din circuit becul de 3,5 V și măsurați din nou atît tensiunea electromotoare cît și tensiunea la borne.

Veți constata că tensiunea electromotoare a rămas aceeași, dar tensiunea la borne s-a modificat.

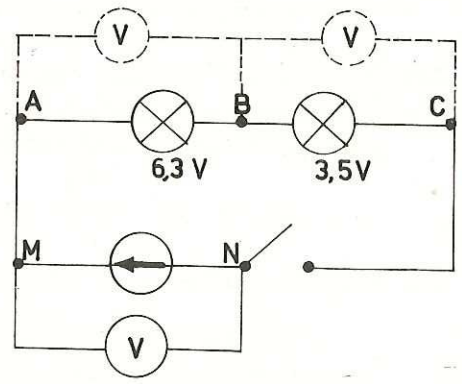


Fig. 4.15. Conectarea voltmetrelor în circuit.

Tensiunea electromotoare este o caracteristică a generatoarelor electrice. Valoarea ei este independentă de structura circuitului exterior. Ea se măsoară legînd voltmetrul la bornele generatorului, avînd circuitul exterior deschis. Tensiunea la borne depinde de structura circuitului exterior. Ea se măsoară legînd voltmetrul la bornele generatorului, avînd circuitul exterior închis.

Valorile înscrise pe alimentatorul didactic (2 V, 4 V, 6 V, 12 V, 24 V) reprezintă tensiunile electromotoare pe care le putem obține cu ajutorul lui atunci cînd îl conectăm la rețeaua electrică de 220 V.

4.6. Rezistența electrică. Măsurarea ei. Tipuri de rezistoare

4.6.1. **Rezistența electrică.** Cu ocazia studiului efectului termic al curentului electric ați constatat că nu toate porțiunile circuitului se încălzesc la fel de mult, deși toate sînt parcurse de același curent. Oare, aplicînd aceeași tensiune diferitelor receptoare, intensitatea este aceeași?

E **Experimentul 14.** Realizați circuitul din figura 4.16, reglînd alimentatorul pentru tensiunea de 6 V_{cc}. Închideți întrerupătorul și notați valoarea intensității curentului. Înlocuiți becul cu un fir de nichelină sau de fier lung de 10—20 cm. Închideți circuitul și citiți din nou intensitatea curentului. (Puteți înlocui firul cu bobina din trusă.)

Intensitatea curentului se modifică de la un receptor la altul, deși acestea au fost alimentate la aceeași tensiune. Înseamnă că fiecare conductor

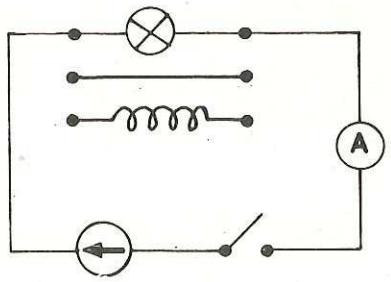


Fig. 4.16. Conductoare diferite determină în circuit curenți cu intensități diferite.

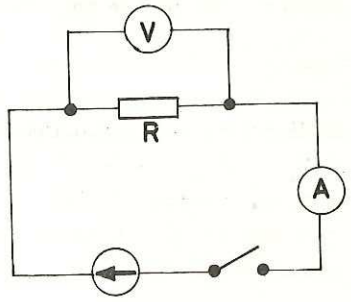


Fig. 4.17. Determinarea rezistenței prin metoda ampermetrului și voltmetrului.

se opune într-o măsură mai mare sau mai mică trecerii curentului. Pentru a găsi mărimea ce caracterizează din acest punct de vedere conductoarele, efectuați următorul experiment:

E **Experimentul 15.** *a)* Realizați montajul din figura 4.17, folosind, drept receptor, conductorul (rezistorul) din trusa elevului. Modificați tensiunea de alimentare a circuitului (2 V, 4 V, 6 V,...), notînd de fiecare dată valorile căderii de tensiune și ale intensității curentului. Calculați apoi valoarea rapoartelor U/I.

În urma efectuării unui astfel de experiment s-au obținut valorile din tabelul de mai jos:

Nr. det.	U (în V)	I (în A)	U/I (în V/A)	U/I (valoarea medie) (în V/A)
1	2,1	0,1	21	$21{,}9\ \frac{\text{V}}{\text{A}}$
2	4,4	0,2	22	
3	6,8	0,3	22,7	

E *b)* Înlocuiți conductorul din experimentul *a* cu un fir de nichelină și măriți treptat tensiunea între 2 V și 6 V_{cc}. În continuare procedați ca la punctul *a*, determinînd valoarea raportului $(U/I)_{med}$.

Veți constata că pentru firul de nichelină, valoarea raportului U/I este constantă, dar diferită de cea obținută pentru conductorul din experimentul *a*.

Prin urmare, valoarea rapoartelor U/I diferă de la un conductor la altul, dar pentru un conductor dat, ea este constantă

Raportul constant, pentru un conductor dat, între tensiunea aplicată la capetele lui și intensitatea curentului ce se stabilește prin el definește o mărime fizică — numită rezistență electrică a acelui conductor.

$$R = \frac{U}{I}. \qquad (1)$$

Unitatea de măsură a rezistenței electrice se numește ohm și se notează cu litera grecească Ω (omega):

$$\langle R\rangle_{SI} = \frac{\langle U\rangle_{SI}}{\langle I\rangle_{SI}} = \frac{1\text{V}}{1\text{A}} = 1\ \Omega.$$

Denumirea a fost dată în cinstea fizicianului german Georg Simon Ohm (1787—1854).

Un conductor are rezistența de 1 Ω, atunci cînd aplicîndu-i la capete o tensiune de 1 V, prin el trece un curent cu intensitatea de 1 A.

Pentru rezistențe mari se folosesc multiplii ohmului:

kiloohmul 1 kΩ = 1 000 Ω,

megaohmul 1 MΩ = 1 000 000 Ω.

4.6.2. **Măsurarea rezistenței electrice.** În experimentul 15 ați determinat rezistența rezistorului și a firului de nichelină folosind un ampermetru și un voltmetru. Aceasta este și una din metodele de măsurare a rezistenței electrice. Prezența acestor aparate în circuit modifică parametrii electrici (intensitate, tensiune, rezistență). Pentru ca modificările să fie cît mai neînsemnate se folosesc ampermetre cu rezistență cît mai mică și voltmetre cu rezistența cît mai mare. Există și alte metode de determinare a rezistenței electrice, mult mai precise, pe care le veți studia mai tîrziu.

4.6.3. Dependența rezistenței de dimensiunile conductorului și de material

E **Experimentul 16.** *a)* Realizați montajul din figura 4.18. Între punctele A și B suspendați un fir de nichelină cu lungimea de 1 m. Capătul A puneți-l în legătură cu o bornă a generatorului reglat pentru 6 V_{cc}, iar capătul B lăsați-l liber. Conectați aparatele de măsură ca în figura 4.18, unde M se află la mijlocul firului AB. Citiți valorile lui U și I și calculați rezistența firului (R_1) corespunzătoare lungimii l (0,5 m). Mutați contactul din M în B dublînd lungimea firului. Citiți valorile lui U și I apoi calculați rezistența firului (R_2) corespunzătoare lungimii $2l$ (1 m). Veți găsi că $R_2 = 2R_1$.

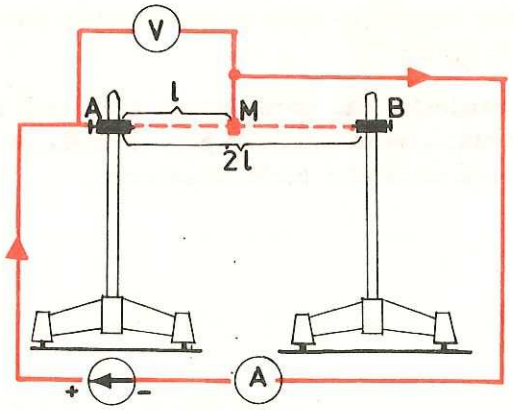


Fig. 4.18. Rezistența firului este proporțională cu lungimea lui.

Rezistența unui conductor cilindric și omogen este direct proporțională cu lungimea sa ($R \sim l$).

b) Scoateți firul de nichelină cu lungimea $2l$ și puneți-l în două obținînd astfel un conductor de lungime l și secțiune $2S$. Determinați din nou rezistența R_3 a firului, măsurînd pe U și I. Veți găsi că $R_3 = \frac{R_1}{2}$.

Rezistența unui conductor cilindric și omogen este invers proporțională cu aria secțiunii lui $\left(R \sim \frac{1}{S}\right)$.

c) Înlocuiți firul de nichelină cu lungimea $2l$ și secțiunea S cu un altul de aceeași lungime și secțiune dar din alt material (manganină, crom-nichel etc.). Determinați rezistența R_4 a noului fir. Veți găsi că $R_4 \neq R_2$.

Rezistența unui conductor cilindric și omogen depinde de materialul din care este confecționat conductorul.

Fiecare material este caracterizat printr-o constantă de material numită rezistență specifică sau rezistivitate pe care o notăm cu simbolul ρ (litera grecească ro). Ea ne arată ce rezistență are un conductor cu lungimea de 1 m și secțiunea de 1 m^2.

Rezistența unui conductor cilindric și omogen este direct proporțională cu lungimea conductorului (l), invers proporțională cu aria secțiunii lui (S) și depinde de materialul din care este confecționat conductorul (ρ).

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}. \qquad (2)$$

Din relația (2) rezultă că $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$ și deci unitatea de măsură pentru rezistivitate va fi $\langle \rho \rangle_{SI} = \frac{1\,\Omega \cdot 1\,m^2}{1\,m} = 1\,\Omega \cdot m$. În continuare prezentăm un tabel cu valorile rezistivităților unor metale, aliaje și electroliți la temperatura de 15°C.

Metale	Rezistivitatea în Ω·m	Aliaje	Rezistivitatea în Ω·m	Electroliți	Rezistivitatea în Ω·m
Ag	$1{,}5 \cdot 10^{-8}$	fier-nichel	$80 \cdot 10^{-8}$	Sol. H_2SO_4 5%	$4{,}8 \cdot 10^{-2}$
Cu	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$	manganină	$30 \cdot 10^{-8}$	Sol. $CuSO_4$ 5%	$20 \cdot 10^{-2}$
Fe	$10 \cdot 10^{-8}$	constantan	$50 \cdot 10^{-8}$	Sol. NaOH 10%	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$
Al	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	crom-nichel	$110 \cdot 10^{-8}$		

De ce a fost necesară precizarea temperaturii?

E **Experimentul 17.** Realizați montajul din figura 4.19. Conectați în serie becul de 6,3 V cu un fir de nichelină sau fier sub formă de spirală și alimentați montajul la 6 V_{cc}. Încălziți cu o spirtieră firul și observați intensitatea luminii emisă de bec. Introduceți apoi firul încins într-un vas cu apă rece. Veți observa imediat că intensitatea luminii produsă de bec a crescut.

Rezistența unui conductor crește, în general, o dată cu creșterea temperaturii. Aceasta deoarece rezistivitatea conductoarelor crește o dată cu creșterea temperaturii.

4.6.4. **Tipuri de rezistoare.** Dispozitivul (componenta electronică) a cărui principală proprietate electrică o constituie rezistența sa se numește rezistor. Aceste dispozitive pot avea *rezistență fixă* sau *variabilă* (reostate, rezistoare semireglabile).

Rezistoarele cu rezistența fixă pot fi de diferite tipuri: bobinate, chimice (cu peliculă de carbon sau cu peliculă metalică) etc. În schemele electrice acestea se reprezintă prin simbolurile din figura 4.20,*a*. În figura 4.20, *b* se prezintă aspectul exterior al unor rezistoare. Rezistoarele cu rezistență variabilă se numesc și reostate. Cu ajutorul lor poate fi modificată rezistența circuitelor electrice și prin aceasta se poate limita valoarea intensității curentului. Cel mai

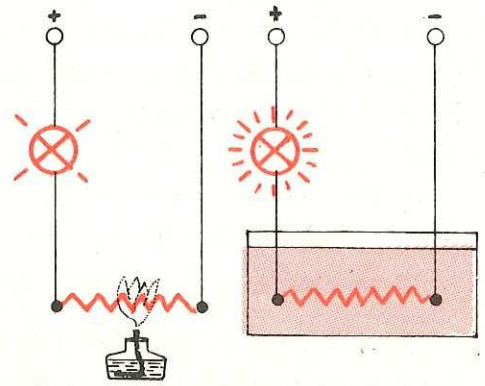
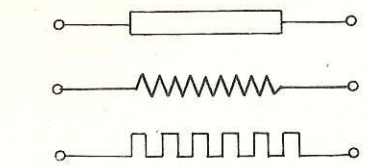
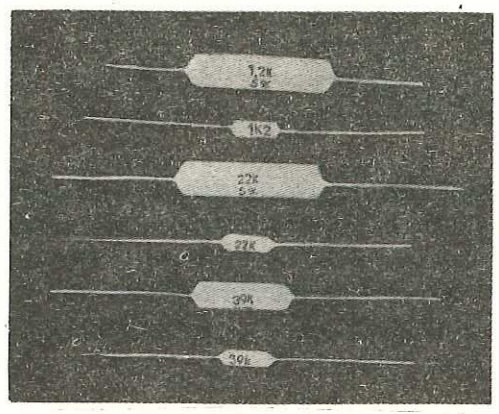


Fig. 4.19. Dependența rezistenței de temperatură.



a



b

Fig. 4.20. Rezistoare.
a) simboluri; *b)* aspect exterior.

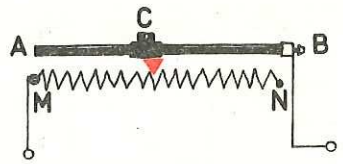


Fig. 4.21. Reostatul cu cursor.

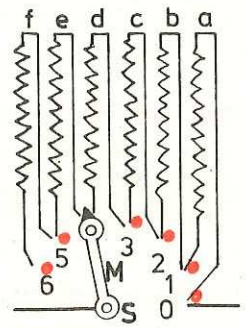


Fig. 4.22. Reostatul cu manetă.

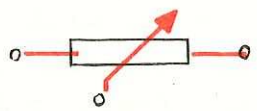


Fig. 4.23. Semn convenţional pentru reostat.

frecvent întîlnite în tehnică sînt reostatele cu cursor şi cu manetă. Aceste tipuri permit modificarea rezistenţei prin modificarea lungimii conductorului introdus în circuit. Principiul lor de construcţie este redat în figurile 4.21 şi 4.22.

La reostatul cu cursor contactul C se poate deplasa pe tija metalică AB realizînd contactul între tije şi rezistorul MN. În acest fel rezistenţa variază datorită variaţiei lungimii porţiunii MC după relaţia $R = \rho \frac{l}{S}$. La reostatul cu manetă, prin rotirea manetei M în jurul axului S de la poziţia zero (0) la 6, rezistenţa se modifică în trepte de la 0 la o valoare maximă R cînd curentul străbate întregul reostat. În schemele electrice, reostatul este reprezentat prin semnul convenţional din figura 4.23.

4.7. Legea lui Ohm

În ultimele paragrafe au fost prezentate unele mărimi ce caracterizează curenţii electrici şi circuitele electrice. Studiind circuitele electrice, fizicianul german Georg Simon Ohm a descoperit în 1827 o relaţie ce leagă aceste mărimi, relaţie cunoscută sub numele de legea lui Ohm.

4.7.1. **Legea lui Ohm pentru o porţiune de circuit.** La studiul rezistenţei electrice am evidenţiat faptul că modificînd tensiunea la capetele unui conductor intensitatea curentului ce trece prin conductor se modifică, dar raportul lor rămîne constant: $R = \frac{U}{I}$. De aici rezultă:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{1}$$

Relaţia (1) este cunoscută sub numele de legea lui Ohm pentru o porţiune de circuit.

Intensitatea curentului, pe o porţiune de circuit, este direct proporţională cu tensiunea aplicată la capetele acesteia atunci cînd rezistenţa porţiunii rămîne constantă.

Dar dacă rezistenţa porţiunii se modifică? Legea exprimată prin relaţia (1) arată că intensitatea scade cînd rezistenţa creşte, tensiunea fiind constantă.

Legea lui Ohm este valabilă pentru conductoarele metalice cărora li se aplică tensiuni nu prea mari şi pentru electroliţi.

4.7.2. **Legea lui Ohm pentru întregul circuit.** La studiul tensiunii electrice aţi constatat că într-un circuit există relaţia:

$$E = U_b + u. \tag{1}$$

Dacă aplicam legea lui Ohm pentru porţiunea de circuit exterior a cărei rezistenţă este R, atunci:

$$U_b = I \cdot R. \tag{2}$$

În acelaşi timp curentul de intensitate I străbate şi generatorul a cărui rezistenţă proprie o numim rezistenţă internă r. Aplicînd legea lui Ohm pentru porţiunea de circuit interior, avem:

$$u = I \cdot r. \tag{3}$$

Introducînd relaţiile (2) şi (3) în relaţia (1), obţinem:

$$E = I \cdot R + I \cdot r; \qquad E = I(R + r) \text{ sau:}$$

$$I = \frac{E}{R + r}. \tag{4}$$

Relația (4) exprimă legea lui Ohm pentru întregul circuit și se enunță astfel:

Intensitatea curentului ce străbate un circuit electric este direct proporțională cu tensiunea electromotoare a generatorului și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.

În exploatarea circuitelor electrice, există situații cînd rezistența circuitului exterior devine foarte mică ($R \simeq 0$). Astfel de situații se întîlnesc atunci cînd bornele sursei sînt unite printr-un conductor cu rezistența neglijabilă. În acest caz:

$$I_0 = \frac{E}{r} \qquad (5)$$

și, spunem că s-a produs un scurtcircuit, deoarece valoarea intensității curentului I_0 este foarte mare (rezistența internă a generatoarelor este mică). Acest fapt poate duce la deteriorarea surselor, ceea ce impune utilizarea unor dispozitive de protecție numite siguranțe, care întrerup curentul cînd intensitatea atinge o valoare maximă permisă (I_{max}).

4.8. Legea lui Joule. Aplicații

4.8.1. Legea lui Joule. La studiul efectului electrotermic al curentului electric, ați constatat că trecerea curentului printr-un conductor este însoțită de o degajare de căldură mai mare sau mai mică. Astfel, trecerea curentului printr-un bec sau reșou determină o încălzire puternică pînă la incandescență a unor porțiuni de circuit, pe cînd altele se încălzesc foarte puțin. Explicarea unor astfel de observații a impus măsurarea căldurii degajate de conductor la stabilirea curentului electric prin el.

O astfel de măsurătoare bazată pe metoda calorimetrică a fost realizată în jurul anului 1850 de către J.P. Joule.

Introducînd un conductor într-un vas calorimetric cu apă sau alt lichid, căldura degajată de fir va fi preluată de lichid care își va mări temperatura cu $\Delta\theta°$. Căldura absorbită (primită) de un lichid de masă m și căldura specifică c este dată, după cum știți, de relația:

$$Q_p = m \cdot c \cdot \Delta\theta,$$

unde $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ (θ_f temperatura finală, θ_i temperatura inițială). Cum m și c sînt constante în timpul experimentelor, căldura primită de lichid va fi proporțională cu $\Delta\theta$.

Conform principiului calorimetric, căldura cedată de conductor este egală cu cea primită de lichid și deci:

$$Q_c = Q_p = m \cdot c \cdot \Delta\theta.$$

Astfel, vom putea aprecia căldura degajată după mărimea variației de temperatură a lichidului ($\Delta\theta$).

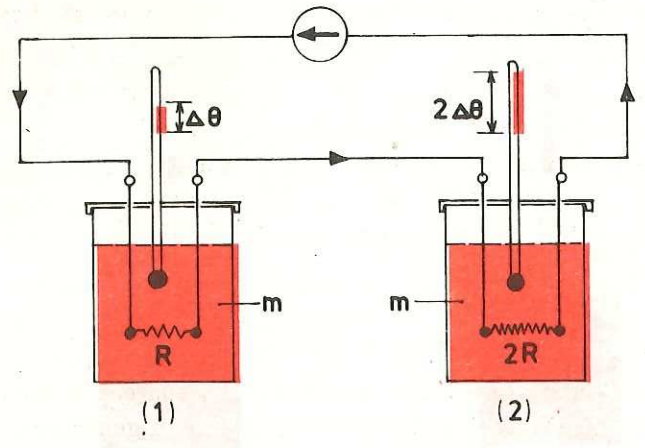


Fig. 4.24. Montaj pentru stabilirea dependenței căldurii degajate de rezistență.

E **Experimentul 18.** Realizați montajul din figura 4.24, utilizînd ca rezistoare 2 fire spiralate din nichelină sau fier cu lungimea l și respectiv $2l$ (10 cm și 20 cm). În vasele calorimetrice (*1*) și (*2*) introduceți aceeași cantitate de apă și citiți temperaturile inițiale (θ_i). Conectați montajul la alimentatorul reglat pentru 12 V_{cc}. Lăsați să treacă curentul 5 minute, agitînd ușor lichidul din vase. Citiți temperaturile finale (θ_f) și apoi calculați diferența $\theta_f - \theta_i$ pentru fiecare vas.

Veți constata că variația de temperatură este de circa 2 ori mai mare în vasul (*2*) unde rezistența firului este $2R$ (deoarece $R \sim l$) față de vasul (*1*) în care rezistența firului este R.

Căldura degajată la trecerea curentului printr-un conductor este direct proporțională cu rezistența acestuia.

$$Q \sim R.$$

E **Experimentul 19.** Realizați montajul din figura 4.25, utilizînd două rezistoare identice. În circuitul unuia introduceți ampermetrul A_1 și conectați-l la bornele generatorului. În circuitul celuilalt rezistor introduceți un reostat și ampermetrul A_2 și conectați-le la bornele aceluiași generator. Cu reostatul, reglați intensitatea în al 2-lea circuit astfel încît să fie jumătate din intensitatea curentului din primul. Citiți temperaturile inițiale și lăsați curentul 5 minute. Notați temperaturile finale și calculați variațiile de temperatură.

Veți constata că variația de temperatură este de circa 4 ori mai mare în vasul în care intensitatea este $2I$.

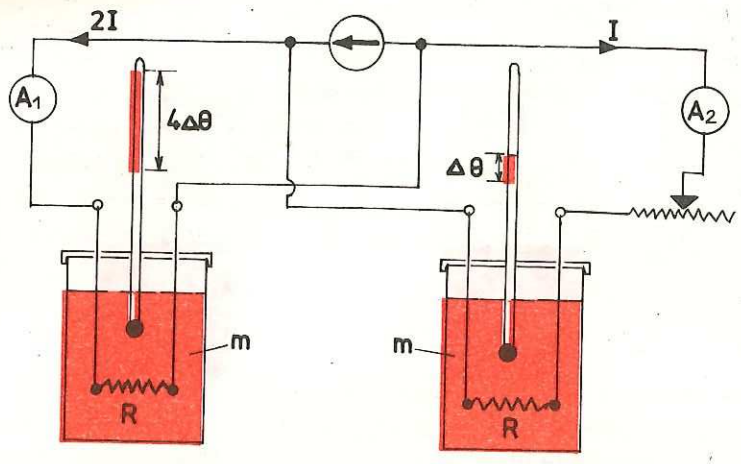


Fig. 4.25. Montaj pentru stabilirea dependenței căldurii degajate de intensitatea curentului.

Căldura degajată la trecerea curentului printr-un conductor este direct proporțională cu pătratul intensității curentului.

$$Q \sim I^2.$$

E **Experimentul 20.** Conectați un rezistor de lungime l la generatorul reglat pentru 6 V_{cc} și lăsați să treacă curentul 5 minute, măsurînd variația de temperatură $\Delta\theta$. Lăsați să treacă, apoi, curentul 10 minute și determinați noua variație de temperatură.

Veți constata că variația de temperatură este de circa două ori mai mare cînd durata trecerii curentului a fost de două ori mai mare.

Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor este direct proporțională cu durata trecerii curentului.

$$Q \sim t.$$

Căldura degajată la trecerea curentului electric printr-un conductor este direct proporțională cu pătratul intensității curentului, cu rezistența conductorului și cu durata trecerii curentului.

Relația matematică prin care se exprimă legea este:

$$Q = I^2Rt.$$

Dacă exprimăm intensitatea în amperi, rezistența în ohmi și timpul în secunde, căldura degajată va fi exprimată în jouli.

Acum puteți spune de ce filamentul becului se încălzește foarte puternic, iar restul circuitului rămîne la o temperatură relativ scăzută?

Justificați-vă răspunsul pe baza relației de mai sus.

4.8.2. **Aplicațiile legii lui Joule.** Efectul termic al curentului electric are numeroase aplicații practice. Dintre acestea vom studia: becul cu incandescență, siguranța fuzibilă și cuptorul electric. Cîteva precizări în legătură cu aceste aparate numite și electrotermice se impun. Astfel toate folosesc ca element esențial un rezistor dintr-un material cu rezistivitate mare și cu temperatură de topire suficient de ridicată. Printre ele întîlnim wolframul, nichelina, constantanul etc.

Becul cu incandescență. A fost realizat prima dată de T.A. Edison în 1880 avînd ca filament un fir de bambus calcinat. Acesta era introdus într-un glob de sticlă din care era scos aerul. Filamentul și deci becul se ardea destul de ușor, pentru că filamentul se pulveriza la temperaturi de circa 1 850°C. Mai tîrziu, filamentul a fost înlocuit cu altele mai rezistente confecționate din wolfram a cărui temperatură de topire este de circa 3 390°C. În globul de sticlă se introduc gaze inerte la presiuni scăzute. În figura 4.26 puteți observa modul în care este alcătuit un bec electric, iar în figura 4.27 dulia, dispozitivul care permite introducerea becului în circuitul electric.

Siguranța fuzibilă. Vi s-a întîmplat ca la introducerea unui aparat în priză să observați producerea unei scîntei puternice, a unui zgomot caracteristic care a determinat întreruperea curentului în locuință. Cauza fenomenului pe care l-ați constatat poate fi legată de producerea unui scurtcircuit sau de supraîncărcarea rețelei electrice cu receptoare (reșouri, sobe electrice, mașini de călcat, aspiratoare, mașini de spălat etc.).

Întreruperea circuitului s-a datorat unui fir foarte subțire din Ag, Cu sau alt metal care se topește ușor (deci material ușor fuzibil). Rolul lui în circuit îl evidențiem prin următorul experiment.

E **Experimentul 21.** Realizați montajul din figura 4.28. Între bornele A și B ale suportului unui bec din care acesta a fost scos, introduceți un fir S foarte subțire de Cu (liță). Generatorul reglați-l pentru 6—8 V_{cc}, iar ca bec folosiți unul de 6,3 V. Conectați la bornele M, N ale becului un

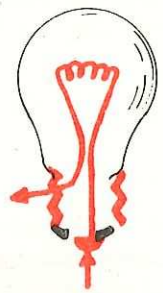


Fig. 4.26. Becul cu incandescență.

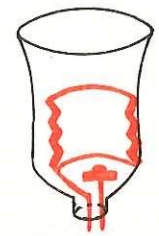


Fig. 4.27. Dulia.

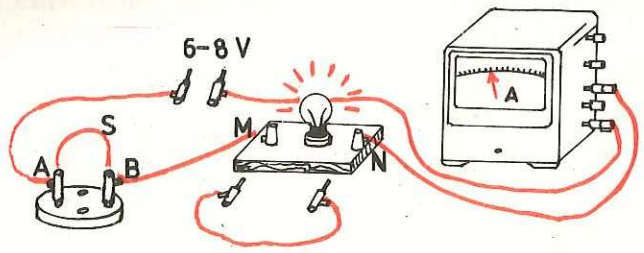


Fig. 4.28. Montaj pentru punerea în evidență a rolului siguranței fuzibile într-un circuit.

conductor scurt și gros din Cu. Veți remarca topirea firului S și stingerea becului. Deconectați conductorul care a provocat scurtcircuitul între bornele M, N, înlocuiți sîrmulița S cu alta și închideți circuitul. Veți remarca funcționarea normală a becului.

Introducerea conductorului între bornele M și N a provocat un scurtcircuit, respectiv o micșorare a rezistenței circuitului și deci o creștere importantă a intensității curentului.

Sîrmulița S fiind foarte subțire are rezistența mare și deci se va încălzi puternic. Din acest motiv, lița se va topi înaintea altor elemente ale circuitului, protejînd astfel generatoarele și receptoarele.

Cuptorul electric cu rezistență. În industrie, pentru topirea sau încălzirea unor corpuri metalice, se folosesc cuptoare cu rezistență. În aceste cuptoare căldura este produsă prin încălzirea unor rezistoare care înconjură vatra cuptorului, confecționată din cărămidă refractară. În general, aceste cuptoare permit încălzirea metalelor pînă la temperaturi de circa 800—1 000°C.

În unele situații, producerea de căldură în circuitele electrice este un fenomen nedorit, fapt ce impune luarea unor măsuri pentru micșorarea căldurii degajate sau pentru răcirea unor elemente ale circuitelor. Astfel încălzirea motoarelor electrice, a transformatoarelor, a unor componente electronice etc. este una din cauzele frecvente ale uzurii lor.

4.9. Energia și puterea electrică. Unități pentru energia și puterea electrică

Ați văzut că generatoarele electrice realizează transformarea unei energii primare în energie electrică. Această energie este transmisă către consumatori (instituții, întreprinderi etc.) prin intermediul conductoarelor.

La consumatori, receptoarele transformă energia electrică în:

— energie mecanică, în cazul motoarelor electrice;

— căldură, în cazul aparatelor electrotermice;

— energie chimică, ca în cazul unui acumulator (la încărcare) sau a unui electrolizor.

Să considerăm circuitul din figura 4.29, format dintr-un generator de tensiune electromotoare E și rezistență internă r și un receptor oarecare R. Între bornele A și B ale receptorului există tensiunea U_{AB}. Cîmpul electric pe care îl imprimă generatorul va determina mișcarea purtătorilor de sarcini electrice și prin receptorul R.

Lucrul mecanic efectuat de cîmp pentru transportul cu viteză constantă a purtătorilor de sarcină electrică va fi:

$$L = U_{AB} \cdot q, \tag{1}$$

unde q este sarcina purtătorilor ce străbat receptorul.

Deoarece cîmpul electric efectuează un lucru mecanic, energia lui scade astfel încît variația acestei energii reprezintă chiar lucrul mecanic efectuat pentru transportul sarcinii q:

$$W_1 - W_0 = L, \tag{2}$$

$$W_1 - W_0 = U_{AB} \cdot q. \tag{3}$$

Variația energiei electrice $W_1 - W_0$ o notăm cu W, așa încît relația (3) devine:

$$W = U_{AB} \cdot q. \tag{3'}$$

Dacă ținem seama că $q = I \cdot t$, atunci relația (3') devine:

$$W = U_{AB} \cdot I \cdot t. \tag{4}$$

În această expresie $U_{AB} = I \cdot R$ (conform legii lui Ohm) și deci relația (4) mai poate fi scrisă:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t. \tag{5}$$

Unitatea de măsură pentru energia electrică este, după cum se poate remarca din relația (1) sau (2), joulul. În practică se mai folosește și kilowattul-oră (kWh):

$$1 \text{ kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

De foarte multe ori, prezintă interes cunoașterea energiei primită de receptor în unitatea de timp. Aceasta reprezintă puterea electrică absorbită de receptor și o vom putea calcula efectuînd raportul

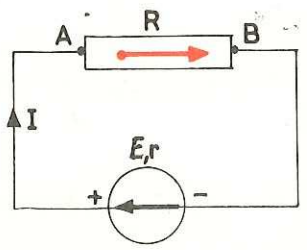


Fig. 4.29. Cîmpul electric din conductoare efectuează lucru mecanic pentru deplasarea purtătorilor de sarcini electrice.

dintre energia furnizată de cîmpul electric receptorului și timpul în care are loc acest proces:

$$P = \frac{W}{t}. \qquad (6)$$

Explicitînd energia, vom obține pentru puterea electrică următoarele expresii:

$$P = U \cdot I \quad (7) \qquad \text{și} \qquad P = I^2 \cdot R \quad (7').$$

Unitatea de măsură pentru puterea electrică este wattul:

$$\langle P \rangle_{SI} = \frac{\langle W \rangle_{SI}}{\langle t \rangle_{SI}} = \frac{1\,J}{1s} = 1\ W.$$

În practică se utilizează și multiplii wattului: kilowattul și megawattul

$$1\ kW = 1\,000\ W; \quad 1\ MW = 1\,000\,000\ W.$$

Pentru a vă da seama de semnificația acestor unități, arătăm că 1 bec de 100 W care funcționează timp de 10 ore consumă 1 kWh. În decursul unei luni, același bec consumă aproximativ 100 kWh.

Dacă ne gîndim că pentru a se realiza în cuptoare electrice 1,5 kg oțel, sau 7 kg îngrășăminte chimice sau 10 kg ciment este necesar un consum de 1 kWh, înțelegem că economisind 100 kWh se pot obține de 100 de ori cantitățile menționate mai sus, de oțel, îngrășăminte sau ciment. Din acest exemplu, ne putem da seama cît de importantă este acțiunea de economisire a energiei electrice la care fiecare trebuie să-și aducă contribuția.

Observații. Energia totală dezvoltată de un generator este utilizată pentru transportul purtătorilor de sarcină electrică atît în exteriorul circuitului, cît și în interiorul generatorului:

$$W_{tot.} = W_{ex.} + W_{int.}. \qquad (8)$$

Împărțind toți membrii relației (8) prin timp (t), vom obține o relație între puterile ce intervin într-un circuit:

$$P_{tot.} = P_{ex.} + P_{int.}. \qquad (9)$$

Puterea totală dezvoltată de generator va fi:

$$P_{tot.} = E \cdot I. \qquad (10)$$

Puterea absorbită de circuitul exterior de rezistență R este:

$$P_{ex.} = I^2 \cdot R, \qquad (11)$$

iar cea absorbită de circuitul interior va fi:

$$P_{int.} = I^2 \cdot r. \qquad (12)$$

Se poate constata, din analiza relațiilor (10), (11) și (12), că puterile din circuit depind de intensitatea curentului, care la rîndul ei este determinată de structura circuitului exterior (respectiv de rezistența acestuia).

Măsurarea puterii electrice absorbite de un receptor se poate realiza pornind de la observația că este suficient să se cunoască intensitatea curentului ce străbate receptorul și tensiunea la bornele lui, conform relației (7).

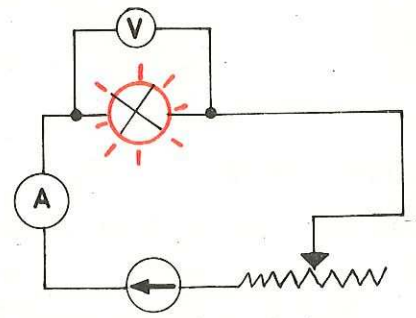


Fig. 4.30. Montaj pentru măsurarea puterii unui bec.

Pentru un receptor dat, intensitatea curentului este condiționată de tensiunea aplicată la bornele lui.

Prin urmare, puterea absorbită de un receptor va fi variabilă fapt care a impus stabilirea unor valori, numite valori nominale, pentru tensiunea de alimentare (U_n). Astfel, utilizarea unui bec într-un circuit presupune cunoașterea tensiunii la care el funcționează normal.

E **Experimentul 22.** Realizați montajul din figura 4.30. Folosiți un bec cu tensiunea nominală $U_n = 6{,}3$ V, iar generatorul reglați-l pentru 10—12 V_{cc}. Cu ajutorul reostatului modificați rezistența circuitului și deci intensitatea curentului pînă cînd tensiunea indicată de voltmetru este de 6,3 V. Citiți valoarea intensității curentului și faceți produsul $U \cdot I$.

Procedînd în acest mod ați determinat puterea nominală a becului, adică puterea absorbită de el în condiții normale de funcționare.

Probleme rezolvate

1. Prin întindere, un fir conductor își triplează lungimea. Cum se modifică rezistența sa?

Rezolvare. Relația care permite aflarea rezistenței unui fir dacă se cunosc elementele sale geometrice este:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}.$$

Deoarece lungimea crește iar aria secțiunii scade, rezultă că rezistența firului va crește. De cîte ori, însă? Să notăm dimensiunile inițiale cu l_1 și S_1, iar după întindere cu l_2 și S_2. Evident $l_2 = 3l_1$, iar $S_2 = \frac{S_1}{3}$, deoarece volumul materialului rămîne același ($V_1 = V_2 \Leftrightarrow l_1 S_1 = l_2 S_2$).

Deci:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} \quad \text{şi} \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2} = \frac{\rho \cdot 3l_1}{\frac{S_1}{3}} = 9 \cdot \rho \frac{l_1}{S_1}.$$

Calculăm raportul $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \cdot l_1}{S_1} \cdot \frac{S_1}{9 \cdot \rho l_1}$ şi deci $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{9}$, adică $R_2 = 9R_1$.

Prin urmare rezistenţa firului creşte de 9 ori datorită întinderii sale.

2. Un conductor cu rezistenţa $R_1 = 10\ \Omega$ legat la bornele unei baterii este parcurs de un curent cu intensitatea de 1 A. Un alt conductor cu rezistenţa $R_2 = 4\ \Omega$ plasat în circuitul aceleiaşi baterii este parcurs de un curent cu intensitatea de 2,2 A. Determinaţi tensiunea electromotoare şi rezistenţa interioară ale bateriei.

Rezolvare. Vom aplica legea lui Ohm pentru întreg circuitul, în cele două situaţii date:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r} \quad \text{şi} \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + r}.$$

Deoarece tensiunea electromotoare a bateriei este aceeaşi, în ambele situaţii vom putea scrie relaţia:

$$I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r).$$

Aceasta este o ecuaţie în care necunoscuta este r. Să o rezolvăm:

$$I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r, \text{ adică:}$$

$$r(I_1 - I_2) = I_2R_2 - I_1R_1 \text{ de unde } r = \frac{I_2R_2 - I_1R_1}{I_1 - I_2}.$$

Ţinînd cont de datele numerice, obţinem:

$$r = \frac{2{,}2 \cdot 4 - 1 \cdot 10}{1 - 2{,}2}\ \Omega = \frac{-1{,}2}{-1{,}2}\ \Omega = 1\ \Omega.$$

Dar $E = I_1(R_1 + r)$ şi deci înlocuind literele cu datele numerice, obţinem:

$$E = 1(10 + 1)\text{V} = 11\ \text{V}.$$

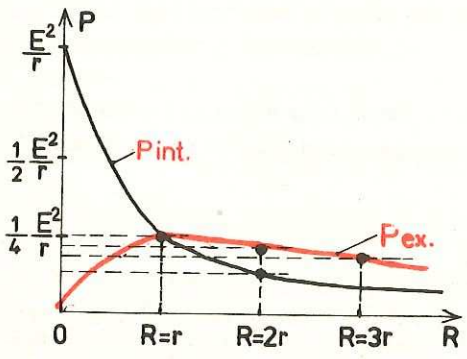


Fig. 4.31. Graficul $P_{ex.} = f(R)$ şi $P_{int.} = f(R)$.

3. Trasaţi graficul $P_{ex.} = f(R)$ şi $P_{int.} = f(R)$, pentru un circuit alimentat de un generator cu tensiunea electromotoare E şi rezistenţa internă r, dacă rezistenţa exterioară variază între 0 şi $4r$. Pentru ce valoare a lui R puterea absorbită de circuitul exterior este egală cu cea absorbită de circuitul interior?

Rezolvare. Ştiţi că puterea circuitului exterior este dată de relaţia:

$$P_{ex.} = I^2 \cdot R = \frac{E^2 \cdot R}{(R + r)^2},$$

iar puterea circuitului interior de:

$$P_{int.} = I^2 \cdot r = \frac{E^2 \cdot r}{(R + r)^2}.$$

Vom întocmi un tabel de variaţie a celor două puteri în funcţie de R.

R	0	r	$2r$	$3r$	$4r$
$P_{ex.} = \frac{E^2R}{(R + r)^2}$	0	$\frac{1}{4} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{2}{9} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{3}{16} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{4}{25} \cdot \frac{E^2}{r}$
$P_{int.} = \frac{E^2 \cdot r}{(R + r)^2}$	$\frac{E^2}{r}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{1}{9} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{1}{16} \cdot \frac{E^2}{r}$	$\frac{1}{25} \cdot \frac{E^2}{r}$

Avînd datele de mai sus, putem trasa graficele cerute. Pe abscisă luăm valorile lui R iar pe ordonată valorile puterilor. Se remarcă faptul că cele două puteri sînt fracţiuni ale lui $\frac{E^2}{r}$ pe care îl alegem ca unitate pe ordonată. Trasînd graficul, obţinem curbele din figura 4.31. Se constată, din grafic ca şi din tabelul de variaţie, că $P_{ex.} = P_{int.}$ pentru $R = r$.

Întrebări. Probleme

1. Enumeraţi cîteva procedee prin care se poate produce curent electric, indicînd şi dispozitivul cu ajutorul căruia evidenţiaţi existenţa sa.
2. Puteţi face o analogie între deplasarea electronilor care constituie curentul electric prin metale şi transferul căldurii prin convecţie?
3. De ce nu este corect ca alimentatoarelor didactice să le spunem surse sau generatoare de tensiune?
4. Cum veţi conecta două baterii de 1,5 V pentru a obţine o baterie cu tensiunea de 3 V? Faceţi schiţa montajului.
5. Luaţi 2 baterii identice de 1,5 V sau de 4,5 V pe care conectaţi-le ca în figurile 4.32, *a* şi *b*. Măsuraţi cu voltmetrul tensiunea la bornele A,B şi A', B'. Formulaţi concluzii privind modul cum trebuie conectate generatoarele electrice. (Temă experimentală.)
6. Pînă la ce temperatură se poate încălzi apa dintr-un calorimetru cu ajutorul unei sîrme de nichelină?
7. Conectaţi un bec de 6,3 V la o baterie de 1,5 V. Veţi constata că filamentul este incandescent către mijloc iar către picioruşele de susţinere nu mai este incandescent. Explicaţi fenomenul, stabilind cauza. (Temă experimentală.)

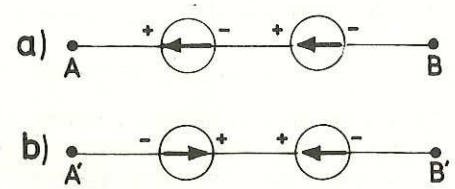


Fig. 4.32. Pentru problema 5.

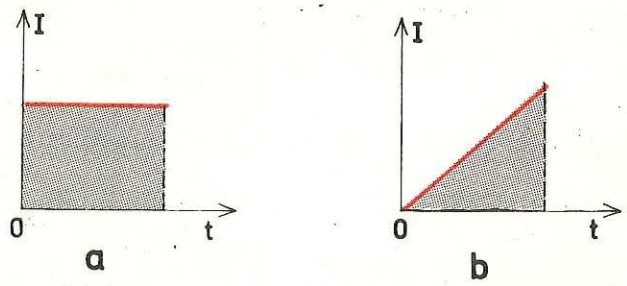


Fig. 4.33. Pentru problema 12.

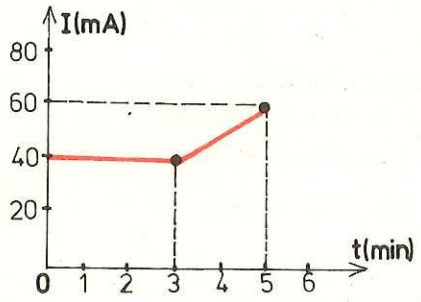


Fig. 4.34. Pentru problema 13.

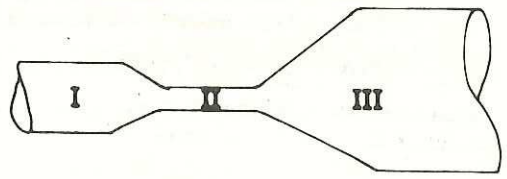


Fig. 4.35. Pentru problema 14.

8. Cum puteţi demonstra experimental că trecerea curentului prin soluţii este însoţită şi de efecte termice? (Temă experimentală.)

9. Pe baza căruia din efectele curentului electric consideraţi că funcţionează motoarele electrice? Dar contorul electric din locuinţa voastră, care indică energia electrică consumată?

10. Un ampermetru indică un curent cu intensitatea de 2 A. Cîţi electroni au trecut într-o secundă printr-o secţiune a sa?

R: $1{,}25 \cdot 10^{19}$ electroni.

11. Un ampermetru indică un curent cu intensitatea de 0,5 A, iar un miliampermetru indică un curent cu intensitatea de 500 mA. Care din cele două instrumente indică o intensitate mai mare?

12. Ce interpretare fizică atribuiţi suprafeţelor haşurate din figurile 4.33, *a* şi *b*?

13. Un elev trasează graficul $I = f(t)$ pentru intensitatea curentului dintr-un circuit şi obţine curba din figura 4.34. Cît de mare este sarcina electrică ce a străbătut circuitul în primele 3 minute? Dar în următoarele 2 minute?

R: 7,2 C; 6 C.

14. O secţiune transversală, într-un circuit simplu, arată ca în figura 4.35. Prin care din cele trei regiuni trece o sarcină electrică mai mare în timp de 1 s?

15. Cine efectuează lucrul mecanic necesar deplasării purtătorilor de sarcini electrice printr-o porţiune a unui circuit?

16. Ce semnificaţie fizică atribuiţi faptului că la bornele unui receptor există o tensiune de 6 V?

17. Tensiunea la bornele unui bec este de 3,2 V. Cîţi electroni au trecut printr-o secţiune a filamentului becului, dacă lucrul mecanic efectuat de cîmpul electric a fost de 1 J?

R: $\simeq 2 \cdot 10^{18}$ electroni.

18. La trasarea graficului $L = f(q)$, pentru două porţiuni de circuit, s-au obţinut dreptele din figura 4.36. Care dintre ele a fost trasată pentru o tensiune mai mare?

19. Un voltmetru, conectat la bornele unui generator în circuit deschis, indică 4,5 V. Dacă se închide circuitul exterior, el indică doar 4,2 V. Care este tensiunea interioară a generatorului? Ce semnificaţie fizică atribuiţi valorii găsite?

R: 0,3 V.

20. Concepeţi şi realizaţi un experiment din care să rezulte că tensiunea electromotoare este o caracteristică a generatorului, avînd o valoare constantă, pe cînd tensiunea la bornele generatorului este variabilă şi depinde de alcătuirea circuitului exterior. (Temă experimentală.)

21. Se modifică rezistenţa unui rezistor, dacă se dublează tensiunea la bornele lui?

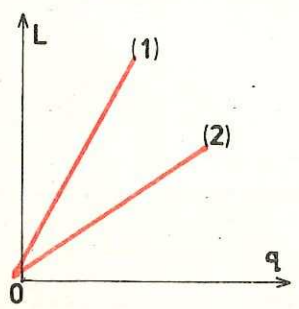


Fig. 4.36. Pentru problema 18.

22. S-a trasat graficul $I = f(C)$ şi s-a obţinut dreapta din figura 4.37. Cît de mare este rezistenţa porţiunii de circuit pentru care a fost trasată?

R: 1 Ω.

23. Cum se modifică rezistenţa unui fir, dacă lungimea lui se reduce la jumătate?

R: rezistenţa scade la jumătate.

24. Dublînd raza unui conductor cilindric, cum trebuie modificată lungimea acestuia, pentru ca rezistenţa sa electrică să rămînă constantă?

R: lungimea trebuie mărită de 4 ori.

25. Un conductor de cupru ($\rho = 1{,}6 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$) are secţiunea de 2 mm^2. Aflaţi lungimea lui, ştiind că are rezistenţa de 320 Ω.

R: $4 \cdot 10^4$ m.

26. Pentru măsurarea rezistenţei filamentului unui bec de 6,3 V, un elev a mărit treptat tensiunea (de la 1 V la 8 V) şi a citit valorile intensităţii în fiecare caz. Făcînd rapoartele U/I a găsit valori din ce în ce mai mari. Cum explicaţi aceasta? (Temă experimentală.)

27. Dispunem de un voltmetru, un rezistor cu rezistenţa de 22 Ω, un fir de fier cu rezistenţa necunoscută (R_x), un generator de tensiune (reglat

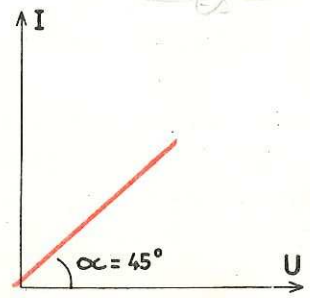


Fig. 4.37. Pentru problema 22.

pentru 6 V_{cc}) și fire de cupru pentru conexiuni. Realizați un montaj care să permită măsurarea rezistenței firului (R_x) cu aparatura dată. (Temă experimentală.)

28. Printr-o secțiune transversală a unui conductor cu rezistența de 5 Ω a trecut în timp de 8 s un număr de 10^{19} electroni. Ce tensiune a fost aplicată la capetele conductorului?

R: 1 V.

29. O baterie cu t.e.m. de 4,5 V alimentează un circuit exterior a cărui rezistență este de 10 Ω. Știind că tensiunea la bornele generatorului este de 4 V aflați:

a) intensitatea curentului în circuit;

b) căderea de tensiune în interiorul generatorului;

c) rezistența internă a generatorului.

d) Cum se modifică mărimile de la punctele *a*, *b*, *c*, dacă rezistența circuitului exterior se dublează?

R: 0,4 A; 0,5 V; 1,25 Ω; 0,21 A; 0,3 V; 1,25 Ω.

30. Rezistența exterioară a unui circuit este de *n* ori mai mare decît rezistența interioară a unui generator. De cîte ori va fi mai mică tensiunea la bornele generatorului decît tensiunea electromotoare?

R: $\frac{U_b}{E} = \frac{n}{n+1} \Leftrightarrow U_b = \frac{n}{n+1} \cdot E.$

31. Considerați corectă expresia „energia curentului electric"? Justificați răspunsul!

32. Contorul electric este un aparat pentru înregistrarea consumului de energie electrică dintr-o locuință. Un astfel de contor a înregistrat în timp de o oră un consum de 0,5 kWh. În acest timp a funcționat în apartament doar un fier de călcat. Știți ce putere are acest fier?

R: 500 W.

33. Un fierbător electric încălzește 250 g de apă de la temperatura de 20°C la 80°C în timp de 10 minute. Știind că fierbătorul este alimentat la tensiunea de 220 V și că nu sînt pierderi de căldură calculați:

a) intensitatea curentului prin fierbător;

b) rezistența fierbătorului;

c) energia absorbită de el în timpul dat;

d) puterea fierbătorului.

Se consideră $c = 4\,180$ J/kg · grd.

R: 0,475 A; 463 Ω; 62 700 J; 104,5 W.

34. Cum se modifică puterea unui bec, dacă tensiunea de alimentare se reduce la jumătate?

R: scade de 4 ori.

4.10. Elementele unei rețele electrice

Rețelele electrice sînt circuite care conțin surse și receptoare. Ele se caracterizează prin trei elemente:

— *nodurile rețelei* — punctele în care se întîlnesc (și realizează contact electric*) cel puțin trei conductoare;

* Se spune că două conductoare se află în contact electric, dacă purtătorii de sarcină pot trece cu ușurință dintr-un conductor în celălalt.

— *ramurile rețelei* — căile de curent între două noduri consecutive; în orice secțiune a unei ramuri de rețea, curentul electric are aceeași intensitate;

— *ochiurile de rețea* — drumuri închise formate cu ramurile rețelei.

Să considerăm o rețea electrică simplă, alcătuită dintr-o sursă cu tensiunea electromotoare E, rezistența internă r și două rezistoare cu rezistențele electrice R_1 și R_2 (fig. 4.38). Această rețea electrică are două noduri N_1 și N_2 și trei ochiuri ($N_1R_1N_2N_1$), ($N_1R_2N_2N_1$) și ($N_1R_1N_2R_2N_1$).

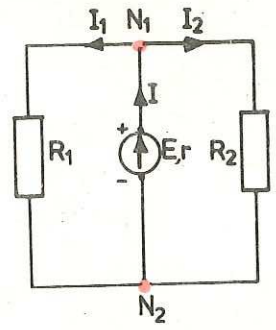


Fig. 4.38. Rețea electrică cu două noduri.

Realizați rețele electrice simple, folosind elementele de circuit existente în trusa de fizică pentru gimnaziu (temă experimentală).

4.11. Legile lui Kirchhoff

Fizicianul german Gustav Robert Kirchhoff (1824—1887) a descoperit și formulat două legi: una referitoare la nodurile de rețea, iar cealaltă referitoare la ochiurile rețelei electrice. Cu ajutorul acestor legi pot fi scrise relații între intensitățile, rezistențele și tensiunile unui circuit electric oricît de complicat.

4.11.1. **Prima lege a lui Kirchhoff** (legea intensităților pentru un nod de rețea): suma intensităților curenților care intră într-un nod de rețea este egală cu suma intensităților curenților care ies din nodul de rețea respectiv.

Dacă se aplică această lege intensităților curenților care străbat ramurile legate la nodul N_1 al rețelei din figura 4.38, se obține: $I = I_1 + I_2$.

Considerînd, prin convenție, pozitive intensitățile curenților care intră în nod și negative intensitățile curenților care ies din nod, legea se mai poate scrie:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

și se enunță astfel:

Suma algebrică a intensităților curenților care se întîlnesc într-un nod de rețea este egală cu zero.

În cazul în care, la un nod de rețea, sînt legate un număr mai mare de conductoare (mai mult de trei), ca în figura 4.39, legea se scrie:

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0.$$

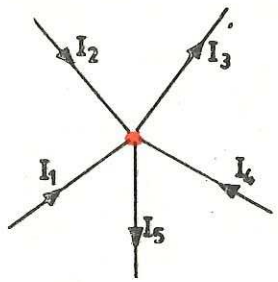


Fig. 4.39. Nod de rețea la care sînt legate mai mult de trei conductoare.

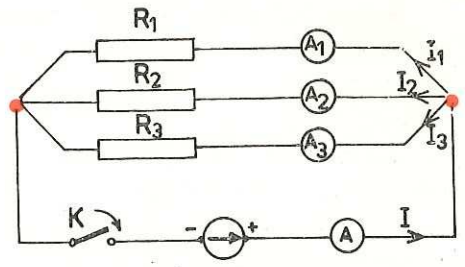


Fig. 4.40. Montaj electric pentru verificarea primei legi a lui Kirchhoff

E **Experimentul 23.** Realizați montajul electric din figura 4.40. Drept rezistoare R_1, R_2, R_3 folosiți un bec electric de 6,3 V, un rezistor de 11 Ω și un rezistor de 18 Ω din trusa elevului. Alimentați montajul la o tensiune de 6 V_{cc}. Închideți întrerupătorul și notați indicațiile ampermetrelor.

Verificați relația: $I = I_1 + I_2 + I_3$, care confirmă experimental prima lege a lui Kirchhoff.

4.11.2. **Legea a doua a lui Kirchhoff** se referă la ochiul de rețea, de aceea, se mai numește și legea tensiunilor pentru ochiul de rețea.

Dacă se măsoară tensiunea între nodurile N_1 și N_2 ale rețelei electrice din figura 4.38 se constată că:

$$U = I_1R_1, \quad U = E - Ir, \quad U = I_2R_2 \tag{1}$$

Deci

$$E - Ir = I_1R_1, \qquad E = Ir + I_1R_1; \tag{2}$$

și

$$E - Ir = I_2R_2, \qquad E = Ir + I_2R_2. \tag{2'}$$

În relația (2) produsul Ir reprezintă căderea de tensiune pe ramura N_1N_2, iar produsul I_1R_1 căderea de tensiune pe ramura $N_1R_1N_2$ deci $Ir + I_1R_1$ reprezintă suma căderilor de tensiune pe ramurile ochiului $N_1R_1N_2N_1$. Cum $Ir + I_1R_1 = E$ rezultă că: suma căderilor de tensiune pe fiecare ramură a ochiului de rețea este egală cu tensiunea electromotoare a sursei din acel ochi de rețea. Acesta este enunțul legii a doua a lui Kirchhoff pentru ochiul de rețea analizat.

La ce ochi de rețea se referă relația (2')?

Pentru a enunța legea a doua a lui Kirchhoff pentru un ochi oarecare al unei rețele, se procedează astfel:

a) Se alege, în mod arbitrar, un sens de parcurs al ochiului. De exemplu, pentru rețeaua din figura 4.41, noi am ales ca sens de parcurs sensul mișcării acelor de ceasornic.

b) Odată ales acest sens de parcurs al ochiului, produsul IR se consideră pozitiv, dacă sensul ales pentru curent coincide cu sensul ales pentru parcurs și negativ în caz contrar. De exemplu, în figura 4.41, produsul I_5R_5 este pozitiv iar produsul I_6R_6 este negativ.

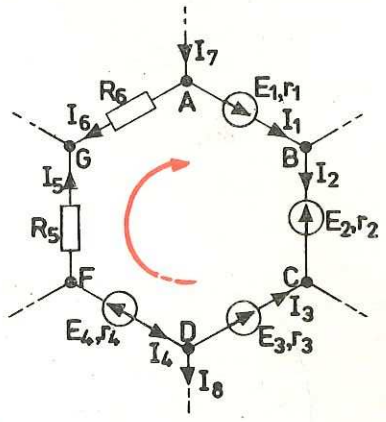


Fig. 4.41. Pentru legea a doua a lui Kirchhoff.

c) Tensiunea electromotoare se consideră pozitivă, dacă sensul de parcurs ales de noi parcurge sursa în sens direct (de la borna negativă la cea pozitivă) și negativ în caz contrar. În figura 4.41 E_1 este pozitivă și E_2 negativă.

Legea a doua a lui Kirchhoff se enunță astfel:

Suma algebrică a căderilor de tensiune pe ramurile unui ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor electromotoare pe ramurile ochiului de rețea considerat.

De exemplu, pentru ochiul din figura 4.41, legea a doua se scrie:

$$I_1r_1 + I_2r_2 - I_3r_3 - I_4r_4 + I_5R_5 - I_6R_6 = E_1 - E_2 - E_3 + E_4. \tag{3}$$

Pentru un circuit neramificat, a doua lege a lui Kirchhoff devine legea lui Ohm pentru întreg circuitul:

$$E = I(R+r).$$

Problemă rezolvată

În rețeaua electrică din figura 4.41 se cunosc:

$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1\ \Omega$, $R_5 = R_6 = 2\ \Omega$, $I_1 = I_4 = 3$ A, $I_2 = I_5 = 2$ A, $I_7 = I_8 = 4$ A, $E_1 = E_3 = 2$ V, $E_2 = 4$ V. Sensul curenților prin ramurile rețelei este considerat cel din figură. Se cer: intensitățile curenților I_3 și I_6 prin ramurile CD, respectiv GA și tensiunea electromotoare E_4.

Rezolvare. Se aplică prima lege a lui Kirchhoff pentru

nodul D: $I_4 - I_3 - I_8 = 0$; $I_3 = I_4 - I_8$

nodul A: $I_7 - I_1 - I_6 = 0$; $I_6 = I_7 - I_1$.

Înlocuind cu valorile cunoscute, se va obține $I_3 = 2$ A și $I_6 = -2$ A. Semnul minus ne arată că sensul adevărat al lui I_6 este opus celui considerat inițial de noi în figura 4.41.

Se aplică a doua lege a lui Kirchhoff ochiului de rețea *ABCDFGA*, alegîndu-se drept sens de parcurs sensul acelor de ceasornic. Se obține:

$$I_1r_1 + I_2r_2 - I_3r_3 - I_4r_4 + I_5r_5 - I_6R_6 = E_1 - E_2 - E_3 + E_4,$$

de unde, înlocuind cu valorile cunoscute, $E_4 = 12$ V.

4.12. Gruparea rezistoarelor

4.12.1. **Gruparea rezistoarelor în serie** (cascadă). Ați observat, desigur, că diferitele instalații pentru iluminarea pomului de iarnă conțin mai multe becuri electrice de 3 V, 6 V sau 12 V legate în serie și alimentate la tensiunea de 220 V. Ne interesează caracteristicile grupării în serie a rezistoarelor.

E | **Experimentul 24.** Realizați montajul electric din figura 4.42, *a*, legînd în serie două rezistoare R_1 și R_2 de 11 Ω fiecare și alimentînd circuitul la tensiunea de 6 V_{cc}. Măsurați tensiunile U_1 și U_2 la capetele fiecărui rezistor, tensiunea U la capetele grupării între punctele M și N, precum și intensitatea I a curentului din circuit.

Se constată că $U = U_1 + U_2$.

Ne propunem să stabilim valoarea rezistenței echivalente R_s a grupării, adică a rezistenței unui rezistor care, conectat între punctele M și N, poate înlocui rezistoarele de rezistență R_1 și R_2, fără a modifica intensitatea curentului din circuit.

Ținînd seama de legea lui Ohm pentru fiecare porțiune de circuit, obținem:

$$U_1 = IR_1 \text{ și } U_2 = IR_2.$$

Cum $U = IR_s$, se poate scrie:

$$IR_s = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2),$$

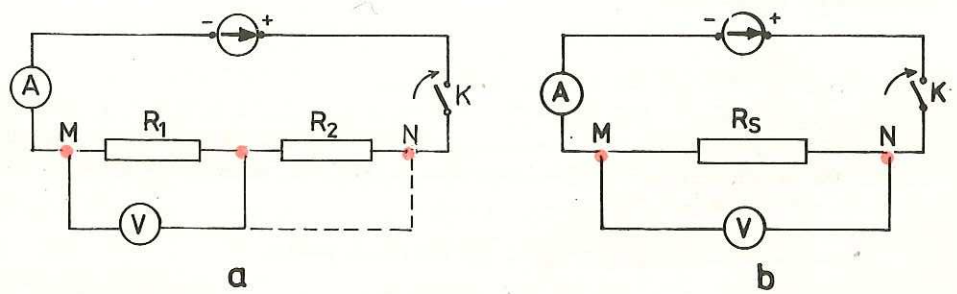


Fig. 4.42. Montaj electric pentru studiul grupării în serie a rezistoarelor.

de unde se obține:

$$R_s = R_1 + R_2.$$

În cazul în care gruparea conține n rezistoare legate în serie, rezistența echivalentă a grupării va fi:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n.$$

Rezistența echivalentă a mai multor rezistoare grupate în serie este egală cu suma rezistențelor acelor rezistoare.

Dacă toate rezistoarele au rezistențe egale:

$$R = R_1 = R_2 = R_3 = \ldots = R_n, \text{ atunci } R_s = nR.$$

Continuați experimentul 24, conectînd între bornele M și N, în locul celor două rezistoare grupate în serie un reostat cu manetă — figura 4.42, *b*. Modificînd rezistența reostatului, verificați că:

$$R_s = R_1 + R_2.$$

Gruparea în serie a rezistoarelor prezintă dezavantajul că, în situația în care unul din rezistoarele grupării se arde sau prezintă o întrerupere, circuitul se deschide și celelalte rezistoare nu vor mai fi parcurse de curent electric.

4.12.2. **Gruparea rezistoarelor în paralel (derivație).** Acest mod de legare a rezistoarelor înlătură dezavantajul mai sus menționat al grupării în serie, permițînd funcționarea independentă a mai multor receptoare. Astfel, toate aparatele utilizate în gospodărie (becurile electrice cu incandescență, fierul de călcat, aparatul de radio, televizorul, mașina de spălat rufe, frigiderul etc.) sînt racordate (legate) la rețeaua electrică în paralel.

E | **Experimentul 25.** Realizați montajul electric din figura 4.43, *a* în care cele două rezistoare au $R = 22\ \Omega$ fiecare. Alimentați montajul la tensiunea de 6 V_{cc}. Citiți valorile indicate de aparatele de măsură. Conectați între bornele M și N, în locul celor două rezistoare grupate în paralel, un reostat cu manetă (fig. 4.43, *b*). Modificați rezistența reostatului pînă cînd intensitatea curentului în circuitul principal și căderea de tensiune între M și N ajung la aceleași valori ca în prima parte a experimentului.

Ce valoare ați găsit pentru rezistența echivalentă a grupării R_p?
Rezistența echivalentă a grupării este:

$$R_p = \frac{R}{2},$$

adică $R_p = 11\ \Omega$, deoarece $R_1 = R_2 = R = 22\ \Omega$.

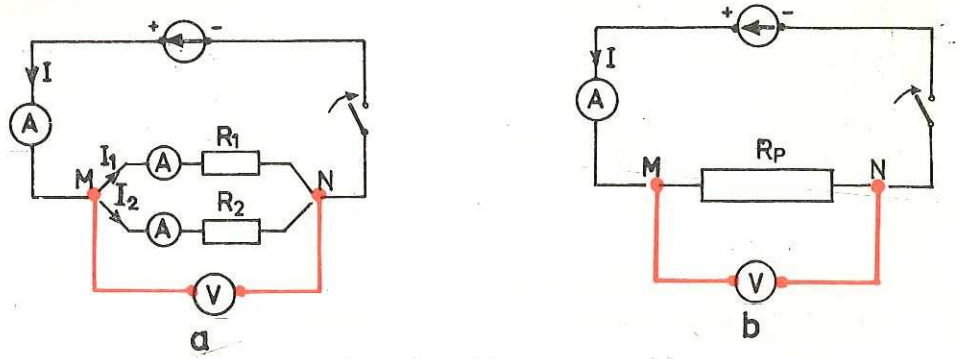


Fig. 4.43. Montaj electric pentru studiul grupării în paralel a rezistoarelor.

Ne propunem să stabilim valoarea rezistenței echivalente R_p a rezistoarelor R_1 și R_2 grupate în paralel, atunci cînd $R_1 \neq R_2$. Aplicînd legea I a lui Kirchhoff nodului de rețea M (fig. 4.43, *a*) se poate scrie:

$$I = I_1 + I_2.$$

Cum însă căderea de tensiune U între M și N, măsurată cu ajutorul voltmetrului V, este aceeași pe cele două derivații cît și pe rezistența echivalentă avem:

$$U = I_1R_1 = I_2R_2 = IR_p.$$

Deci:

$$I = \frac{U}{R_p}\ ;\quad I_1 = \frac{U}{R_1}\ ;\quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

și deoarece $I = I_1 + I_2$ obținem:

$$\frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

Simplificînd cu U, rezultă:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Generalizînd pentru cazul legării în paralel a n rezistoare:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}.$$

Inversul rezistenței echivalente a mai multor rezistoare grupate în paralel este egal cu suma inverselor rezistențelor acelor rezistoare.

Dacă

$$R_1 = R_2 = R_3 = \ldots = R_n = R, \text{ atunci}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{n}{R},\ \text{deci}\ R_p = \frac{R}{n}.$$

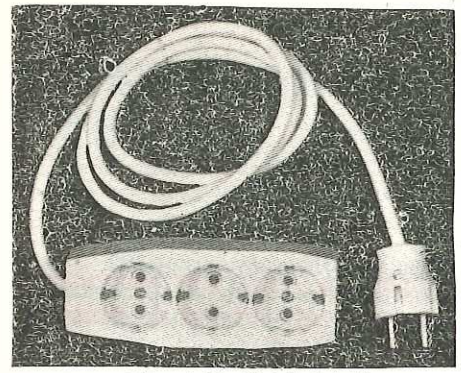


Fig. 4.44. Priză triplă.

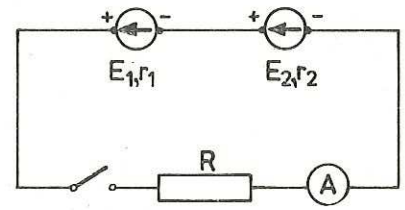


Fig. 4.45. Montaj electric pentru studiul grupării în serie a generatoarelor.

Dacă într-un montaj alcătuit din mai multe rezistoare legate în paralel, unul dintre ele se arde sau se întrerupe, celelalte pot funcționa normal în continuare. Pentru a lega în paralel diverse receptoare la una din prizele din locuința voastră (priză alimentată de la rețeaua electrică), puteți utiliza fișe triple sau prize triple (fig. 4.44).

4.13. Gruparea generatoarelor electrice

Deseori, în practică, sînt necesare surse cu t.e.m. mai mari decît cele pe care le avem la îndemînă sau care să poată debita curenți intenși. În aceste cazuri generatoarele electrice existente se pot grupa în serie sau în paralel.

4.13.1. Gruparea generatoarelor în serie

E **Experimentul 26.** Se realizează circuitul din figura 4.45 grupînd în serie două baterii de buzunar de 4,5 V fiecare, care să debiteze pe un rezistor, cu rezistența de 40 Ω. Se deschide circuitul cu ajutorul întrerupătorului și se măsoară tensiunea electromotoare E_s la capetele grupării.

Se constată că:

$$E_s = E_1 + E_2, \text{ unde } E_1 = E_2 = 4{,}5\ \text{V}.$$

Dacă rezistențele interne ale celor două baterii sînt r_1 și respectiv r_2, atunci rezistența internă a grupării este:

$$r_s = r_1 + r_2.$$

Aplicînd circuitului (fig. 4.45) legea a 2-a a lui Kirchhoff, se obține:

$$E_1 + E_2 = IR + Ir_1 + Ir_2,\ \text{de unde:}$$

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}.$$

Dacă generatoarele sînt identice, au aceeași t.e.m. $E = E_1 = E_2$ și aceeași rezistentă internă $r = r_1 = r_2$, atunci:

$$I = \frac{2E}{R + 2r}.$$

Se poate trage concluzia că:

Două generatoare electrice identice, grupate în serie, sînt echivalente cu un singur generator care are t.e.m. și rezistența internă de două ori mai mari decît a fiecărui generator în parte.

În cazul grupării în serie a n generatoare identice, intensitatea prin circuit va fi:

$$I = \frac{nE}{R + nr}.$$

Gruparea în serie este folosită pentru a obține la bornele rezistorului R o tensiune electrică mare. Ea este avantajoasă numai dacă rezistența interioară a fiecărui generator este mică, deoarece:

$$U = IR = nE - Inr.$$

4.13.2. Gruparea generatoarelor în paralel

E **Experimentul 27.** Cu aceleași materiale ca în experimentul 26 se realizează circuitul din figura 4.46. Se măsoară t.e.m. a fiecărei baterii și a întregului ansamblu. Se constată că acestea sînt egale. Se măsoară intensitatea curentului care circulă prin fiecare baterie, cît și prin rezistorul R.

Deoarece generatoarele sînt identice ($E_1 = E_2$; $r_1 = r_2$), intensitățile curenților care circulă prin fiecare baterie sînt egale $I_1 = I_2$, iar intensitatea curentului I prin circuitul principal este de două ori mai mare decît intensitatea printr-una din baterii. Notînd rezistența internă a fiecărei baterii cu r rezistența echivalentă grupării de baterii este $\frac{r}{2}$.

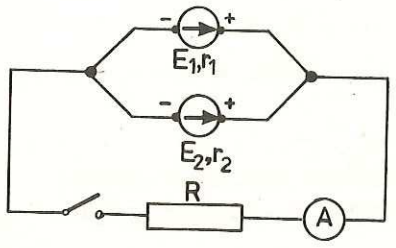


Fig. 4.46. Montaj electric pentru studiul grupării în paralel a generatoarelor.

Legea lui Ohm pentru circuitul echivalent este:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{2}}.$$

Două generatoare electrice identice grupate în paralel sînt echivalente cu un singur generator care are t.e.m. egală cu a unuia dintre generatoare și rezistența internă egală cu jumătate din rezistența internă a unui generator.

În cazul grupării în paralel a n generatoare identice, relația de mai sus devine:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}.$$

Gruparea generatoarelor în paralel este folosită pentru a obține un curent de n ori mai intens decît curentul pe care l-ar furniza *fără pericol* un singur generator.

Rezumat

Deplasarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică printr-un conductor se numește *curent electric*. Această mișcare este condiționată de existența unui cîmp electric în conductor.

Generatoarele sînt dispozitive care au rolul de a crea o tensiune electrică, prin transformarea unei energii oarecare în energie electrică.

Trecerea curentului electric prin conductoare este însoțită de efecte *termice*, *magnetice* și *chimice* (în electroliți).

Intensitatea curentului electric este mărimea fizică ce exprimă sarcina electrică ce trece printr-o secțiune transversală a conductorului în unitatea de timp. Măsurarea ei se bazează pe compararea efectelor diferiților curenți electrici. Aparatele de măsură se numesc ampermetre și se conectează în serie cu elementele circuitului.

Tensiunea electrică între două puncte ale unui circuit este o mărime fizică egală cu lucrul mecanic efectuat de cîmpul electric din conductoarele ce alcătuiesc circuitul pentru transportul unei sarcini electrice de 1 C între cele două puncte.

Raportul constant, pentru un conductor dat, între tensiunea aplicată acestuia și intensitatea curentului ce-l străbate se numește *rezistență electrică*. Ea este direct proporțională cu lungimea conductorului, invers proporțională cu secțiunea lui și depinde de materialul din care este confecționat, prin constanta numită rezistivitate.

Legea lui Ohm arată că intensitatea curentului ce străbate o porțiune de circuit este direct proporțională cu tensiunea aplicată și invers proporțională cu rezistența porțiunii.

Efectul termic al curentului constă în încălzirea unui conductor la trecerea curentului prin el. Căldura degajată este direct proporțională cu pătratul intensității, cu rezistența și timpul *(legea lui Joule)*.

Legile lui Kirchhoff se referă la nodurile și ochiurile rețelelor electrice. Ele se enunță astfel: 1) suma algebrică a intensităților curenților care se întîlnesc într-un nod de rețea este egală cu zero; 2) suma algebrică a

tensiunilor electromotoare de-a lungul unui ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor pe fiecare ramură.

Rezistența echivalentă mai multor rezistoare grupate în serie este egală cu suma rezistențelor acelor rezistoare. Inversul rezistenței echivalente mai multor rezistoare grupate în paralel este egal cu suma inverselor rezistențelor acelor rezistoare.

În cazul grupării în serie a n generatoare identice, intensitatea prin circuit va fi:

$$I = \frac{nE}{R + nr},$$

iar în cazul grupării în paralel

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}.$$

Întrebări. Probleme

1. Cum trebuie grupate mai multe receptoare pentru a putea funcționa fiecare separat?

2. Într-o rețea electrică se găsesc 50 de becuri identice legate în paralel, care funcționează la o tensiune de 220 V. Prin fiecare bec trece un curent de 40 mA. Să se calculeze: *a)* rezistența unui bec; *b)* rezistența echivalentă tuturor becurilor; *c)* intensitatea curentului din rețea.

   R: 5 500 Ω; 110 Ω; 2 A.

3. Unde este mai mare tensiunea electrică, între punctele A și C sau între punctele C și B (fig. 4.47)?

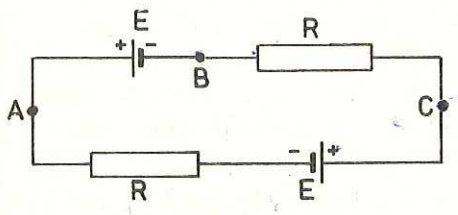


Fig. 4.47. Pentru problema nr. 3.

4. O sursă de curent cu tensiunea electromotoare de 5 V și rezistența internă de 1 Ω alimentează circuitul din figura 4.48. Se cunosc: $R_1 = 2\ \Omega$; $R_2 = 4\ \Omega$; $R_3 = 6\ \Omega$; $R_4 = 12\ \Omega$. Să se calculeze intensitatea curentului prin fiecare rezistor și tensiunea între A și B.

   R: 1 A; 0,5 A; 0,33 A; 0,17 A; 2 V.

5. Două generatoare identice, legate în serie, produc un curent cu intensitatea de 2 A într-un circuit exterior de rezistență 1 Ω. Legate în paralel, aceleași generatoare produc în același circuit un curent cu intensitatea de 1,6 A. Să se găsească tensiunea electromotoare și rezistența internă a fiecărui generator.

   R: 2 V; 0,5 Ω.

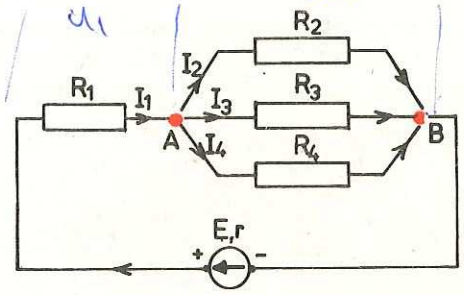


Fig. 4.48. Pentru problema nr. 4.

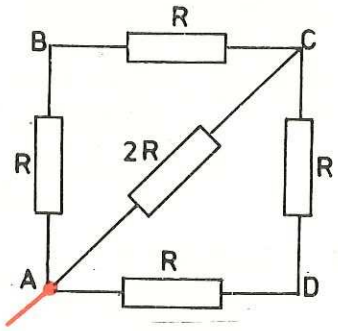


Fig. 4.49. Pentru problema nr. 9.

6. Rezistența echivalentă a două rezistoare grupate în serie este de patru ori mai mare decît rezistența echivalentă aceloraşi două rezistoare grupate în paralel. Ce puteți spune despre valorile rezistențelor celor două rezistoare?

   R: $R_1 = R_2$.

7. Tensiunea unei rețele electrice este de 220 V. Se conectează pe rețea două becuri de cîte 440 Ω fiecare. Ce intensitate va avea curentul care trece prin fiecare bec, cînd sînt grupate: *a)* în serie; *b)* în paralel?

   R: 0,25 A; 0,5 A.

8. Un bec de 40 W și 110 V este conectat la tensiunea de 220 V. Ce rezistență ar trebui să aibă un rezistor legat în serie cu becul, pentru ca acesta să nu se ardă?

   R: 302,5 Ω.

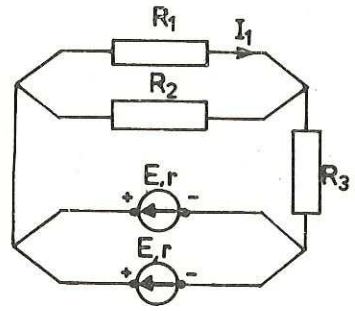


Fig. 4.50. Pentru problema nr. 10.

9. În ce caz este mai mare rezistența echivalentă a grupării de rezistoare din figura 4.49: cînd curentul intră prin nodul A și iese prin C sau cînd intră prin nodul A și iese prin D?

   R: rezistența este aceeași.

10. Două generatoare identice, cu tensiunea electromotoare de 6 V și rezistența interioară de 1 Ω fiecare (fig. 4.50), alimentează o rețea electrică formată din rezistoare de rezistențe $R_1 = 1\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$ și $R_3 = 3\ \Omega$. Ce tensiune este la bornele rezistorului R_3 și ce intensitate are curentul prin rezistorul R_1?

    R: 4,32 V; 0,96 A.

5.

Curentul electric în electroliţi

5.1. Disociaţia electrolitică

Din experimentul de la pagina 37 (efectul electrochimic) se poate trage concluzia că în apa distilată nu există purtători de sarcină mobili, care să constituie, sub acţiunea cîmpului electric, un curent pus în evidenţă de aparatele de măsură. Există însă substanţe, numite electroliţi (acizi, baze, săruri), care prin dizolvare sau topire conduc la apariţia unor purtători de sarcină mobili, numiţi ioni. Într-un electrolit pot fi două feluri de ioni: ioni cu sarcină pozitivă sau cationi şi ioni cu sarcină negativă sau anioni. Denumirile provin de la numele electrozilor spre care sînt orientaţi ionii la închiderea circuitului. În electroliţi, atomii de hidrogen şi de metale devin ioni pozitivi, iar radicalii şi atomii altor elemente devin ioni negativi.

E **Experimentul 1.** În montajul experimental prezentat în figura 4.9 (pag.37), menţinînd circuitul deschis, introduceţi în apa distilată cîteva cristale de permanganat de potasiu ($KMnO_4$). Veţi observa cum coloraţia violetă se extinde în toate direcţiile. Închideţi circuitul şi veţi observa cum coloraţia violetă se deplasează spre electrodul legat la borna pozitivă a generatorului. Dacă schimbaţi polaritatea celor doi electrozi din vas, veţi constata schimbarea sensului de deplasare a coloraţiei.

Explicaţia faptelor observate este următoarea: în soluţia apoasă, sarea ($KMnO_4$) se separă în cationi K^+ şi anioni MnO_4^-. Separarea are loc în absenţa cîmpului electric. Într-adevăr, circuitul fiind deschis, coloraţia violetă (ionul MnO_4^- este colorat) se extinde în toate direcţiile.

Procesul de separare a compuşilor ionici, în soluţie, în ioni pozitivi şi ioni negativi se numeşte disociaţie electrolitică.

Teoria disociaţiei electrolitice a fost elaborată în 1887 de savantul suedez Svante Arrhenius.

La închiderea circuitului mişcarea anionului spre electrodul pozitiv poate fi vizualizată, ionul MnO_4^- fiind colorat.

Conductibilitatea ionică (purtătorii de sarcină liberi sînt ioni pozitivi şi negativi) se poate constata atît la soluţii, cît şi la topituri. În topitură conductibilitatea se datoreşte legăturii ionice, iar în soluţie, fenomenului de disociaţie electrolitică. Chiar în apa pură o parte din molecule sînt disociate în cationi H^+ şi anioni HO^-.

Conductibilitatea soluţiilor de electroliţi este asigurată de ioni, a căror mişcare în lichid se face însă cu frecări. Din acest motiv, soluţiile de electroliţi prezintă o anumită rezistenţă electrică. Ele ascultă de legea lui Ohm, pentru domenii întinse de tensiune. Rezistivitatea soluţiilor de electroliţi scade mult cu creşterea temperaturii, spre deosebire de cea a metalelor.

5.2. Electroliza

E **Experimentul 2.** Într-un vas de sticlă ce conţine o soluţie de $CuCl_2$ se montează doi electrozi de cărbune (fig. 5.1). Se stabileşte o tensiune de alimentare de 6 V_{cc} şi se intercalează un ampermetru conectat pe scala 1 A. Se închide circuitul şi se aşteaptă cîteva minute. Dacă priviţi cu atenţie electrodul pozitiv (anodul), veţi constata că în imediata apropiere a lui se degajă bule de gaz, iar pe suprafaţa electrodului negativ (catodul) se depune un strat fin de cupru (roşcat).

Aplicarea cîmpului electric între electrozi determină ordonarea mişcării ionilor, conform interacţiunii sarcinilor electrice. Astfel, ionii negativi (anionii) sînt orientaţi către electrodul pozitiv (anodul), iar ionii pozitivi (cationii) către electrodul negativ (catodul). În felul acesta, mişcarea dirijată a ionilor (purtătorilor de sarcină) pe direcţia cîmpului electric determină un curent electric, al cărui efect, în cazul experimentului, constă în depunerea de substanţă la catodul instalaţiei.

În soluţia de $CuCl_2$ se găsesc ioni de Cu^{2+} şi ioni de Cl^-. Cît timp circuitul este închis, ionii Cu^{2+} se deplasează spre catod. La catod primesc doi electroni, se neutralizează şi se depun. La anod se dezvoltă clorul (bulele de gaz observate), ce provine din ionii de Cl^- care cedează cîte un electron, devenind atomi neutri de clor. Atomii de clor, nefiind stabili, formează, prin legături covalente nepolare, molecule de clor diatomice stabile.

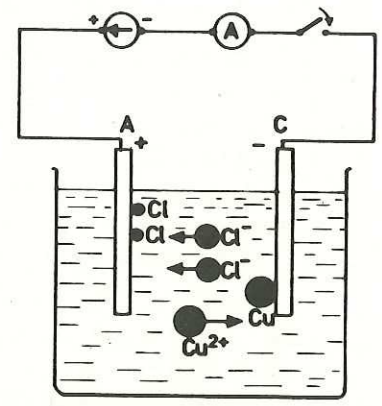


Fig. 5.1. Montaj experimental pentru demonstrarea efectului electrochimic.

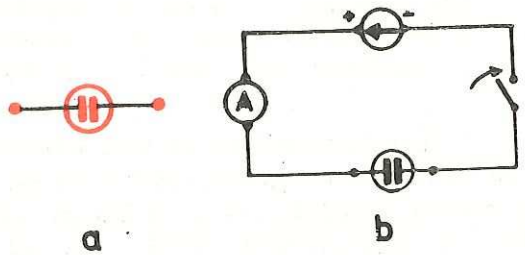


Fig. 5.2. *a)* Semnul convenţional pentru electrolizor. *b)* Schema electrică a circuitului folosit în experimentul 2.

Procesul de dirijare a ionilor dintr-un electrolit către electrozi şi transformarea lor în atomi sau radicali prin neutralizare se numeşte electroliză.

Vasul de sticlă, electrolitul şi cei doi electrozi formează împreună un element de circuit numit electrolizor (sau baie de electroliză).

Vasul în care se realizează electroliza apei se numeşte voltametru.

Semnul convenţional utilizat pentru electrolizor este prezentat în figura 5.2, *a*, iar schema electrică a circuitului folosit în experiment în figura 5.2, *b*.

5.3. Aplicaţiile electrolizei

Electroliza are numeroase şi variate aplicaţii tehnice, foarte importante pentru economia unei ţări. Aplicaţiile electrolizei au dus la constituirea unei ramuri a chimiei, numită electrochimia. Electrochimia are trei ramuri importante:

a) galvanotehnica;
b) electrometalurgia;
c) obţinerea de diverse substanţe pe cale electrolitică.

Principalele operaţii galvanotehnice sînt: galvanostegia şi galvanoplastia.

Galvanostegia sau galvanizarea este operaţia de acoperire prin electroliză a suprafeţelor metalelor uşor corosive cu straturi subţiri din alte metale mai rezistente. Obiectul ce urmează a fi acoperit se aşază la catod; în soluţie se dizolvă o sare a metalului cu care vrem să-l acoperim (nichel, crom, cupru, aur, argint etc.), iar anodul este confecţionat din metalul ai cărui ioni se găsesc în soluţie. De exemplu, pentru argintare anodul este confecţionat din argint, iar electrolitul este o soluţie de azotat de argint.

Galvanoplastia este tehnica reproducerii sculpturilor prin confecţionarea de mulaje (tipare) din materiale plastice (ceară, gumă) care sînt impregnate cu un strat de grafit, pentru a le face conductoare. Mulajul (tiparul) se introduce în soluţie ca electrod negativ, în timp ce electrodul pozitiv este făcut din metalul cu care se face reproducerea, iar soluţia folosită drept electrolit este a unei sări a aceluiaşi metal. Galvanoplastia este utilizată la obţinerea discurilor pentru picup şi în tipografie.

Electrometalurgia este tehnica obţinerii unor metale, de exemplu a aluminiului. Materia de bază în acest caz este alumina, adică praful de oxid de aluminiu (Al_2O_3) obţinut din bauxită, dar care conţine diferite impurităţi. Ţinînd seama de influenţa adaosului de impurităţi asupra temperaturii de topire a unui corp, se adaugă aluminei fluorură de calciu (CaF_2). Amestecul astfel obţinut este topit într-un vas electrolitic cu pereţii acoperiţi cu praf de cărbune sau grafit (catodul), în care sînt introduşi anozii confecţionaţi tot din carbon. În urma topirii, aluminiul prezent ca ion (Al^{3+}) se neutralizează pe catod şi se depune pe fundul vasului în stare topită de unde este evacuat din timp în timp. Acest mod de obţinere a aluminiului este utilizat la Combinatul de Aluminiu de la Slatina. Tot pe cale electrolitică, în afară de aluminiu, se extrag platina, argintul, zincul, cuprul.

Prin electroliză se realizează şi purificarea (rafinarea) metalelor. O importanţă deosebită prezintă rafinarea cuprului. În acest caz, anodul este format din lame de cupru care conţine impurităţi (fier, siliciu etc.), iar catodul din lame subţiri de cupru pur. Electrolitul este o soluţie de sulfat de cupru. La trecerea curentului electric, cuprul din soluţia de $CuSO_4$ se depune pe catod, iar cuprul de la anod trece în soluţie (o aşa-zisă „electroliză cu anod solubil"). Cuprul obţinut pe cale electrolitică are un grad mare de puritate şi este folosit în industria electrotehnică. Rafinarea cuprului este necesară, deoarece prezenţa unor cantităţi mici de impurităţi schimbă mult proprietăţile electrice ale metalului (de exemplu, cantităţi mici de arsen modifică considerabil conductibilitatea cuprului). Pe figura 5.3 se vede sala cuvelor de electroliză de la Întreprinderea Metalurgică de Metale Neferoase din Baia Mare.

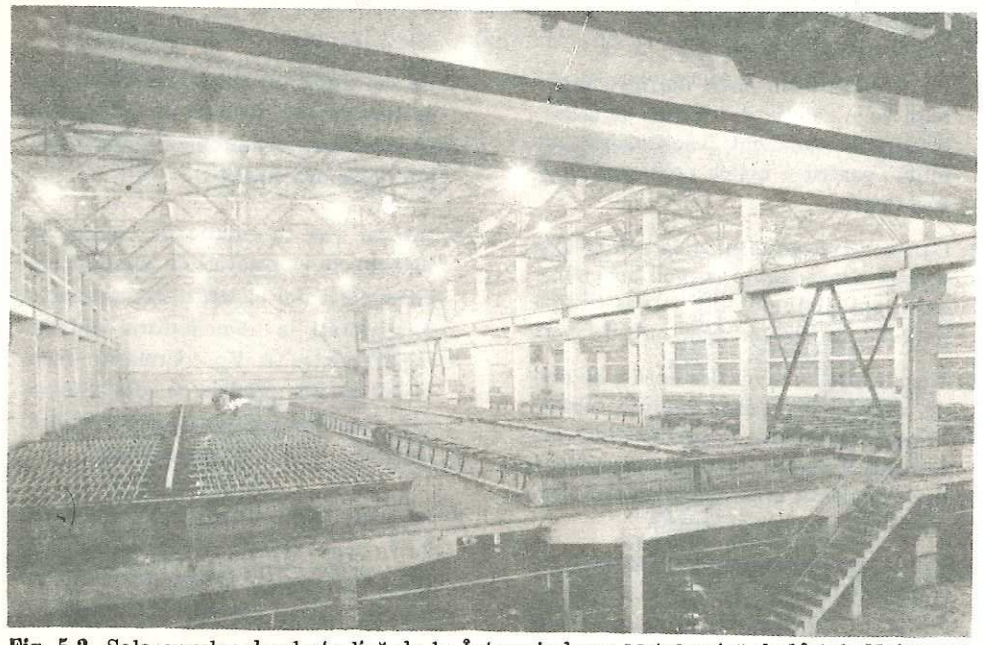


Fig. 5.3. Sala cuvelor de electroliză de la Întreprinderea Metalurgică de Metale Neferoase din Baia Mare.

E **Experimentul 3.** Realizaţi purificarea cuprului, folosind instalaţia din figura 5.1, în care se înlocuiesc electrozii de cărbune cu electrozi de cupru.

Rafinarea electrolitică mai este folosită la obţinerea plumbului, fierului, argintului.

Pe cale electrolitică pot fi preparate: sodiul, magneziul, calciul. oxigenul, hidrogenul, clorul, cloraţii, soda caustică etc.

Rezumat

Procesul de separare a compuşilor ionici, în soluţii, în ioni pozitivi şi ioni negativi se numeşte disociaţie electrolitică.
Electroliza este procesul de dirijare a ionilor dintr-un electrolit către electrozi şi transformarea lor în atomi sau radicali, prin neutralizare.
Electrochimia are trei ramuri importante: galvanotehnica, electrometalurgia şi obţinerea unor substanţe pe cale electrolitică.

Întrebări. Probleme

1. Poate constitui o hîrtie de filtru îmbibată cu o soluţie de clorură de sodiu, la care s-a adăugat fenolftaleină, un mijloc pentru a indica polii unui acumulator?
2. Cum se explică faptul că la cufundarea a două sîrme, legate la polii unei surse de curent continuu, într-un vas cu apă potabilă, pe acestea apar bule de gaz?
3. Uneori, pentru a verifica dacă o baterie de buzunar mai poate produce curent, atingem cu limba în acelaşi timp cei doi poli ai sursei. O uşoară înţepătură ne semnalează trecerea curentului electric. Cum explicaţi aceasta?
4. La trecerea curentului electric printr-o soluţie de $CuSO_4$, la catod se depune cupru. Aţi putea stabili experimental că fenomenul este însoţit şi de o degajare de căldură?
5. De ce, după un timp mai îndelungat de funcţionare, trebuie să îndepărtăm nămolul care se adună pe fundul vasului acumulatorului?
6. Într-un vas cu soluţie de clorură de sodiu şi cîteva picături de fenolftaleină, introduceţi doi electrozi de cărbune şi îi conectaţi la alimentatorul didactic reglat pentru 6 V_{cc}. Urmăriţi fenomenul care se produce la catod. Explicaţi coloraţia roşie a soluţiei din jurul catodului (temă experimentală).
7. Se poate folosi ca reostat un vas metalic în care se află o soluţie de sodă (Na_2CO_3) în apă şi în care este cufundat un alt electrod din fier? Cum poate fi variată rezistenţa unui astfel de reostat?

6.
Cîmpul magnetic

6.1. Magneţi. Magnetizare

În clasa a VI-a aţi pus în evidenţă o categorie de fenomene numite fenomene magnetice. Aţi folosit corpuri cu proprietăţi magnetice, adică magneţi şi aţi studiat interacţia lor cu alte corpuri fără proprietăţi magnetice, precum şi interacţia între doi magneţi.

Să reactualizăm cîteva din experimente.

E **Experimentul 1.** Puneţi pe masă următoarele corpuri din trusă: o tijă de fier, un electrod de cupru, un electrod de plumb, un corp de sticlă, un corp de aluminiu, ace de cusut, ace cu gămălie, piuneze, peniţe, cuie de fier, o mică bară sau tijă de oţel. Apropiaţi, pe rînd, fiecare corp de pe masă de celelalte şi observaţi dacă se constată vreo interacţiune. Folosiţi apoi magnetul bară, magnetul disc şi acul magnetic din trusă şi observaţi dacă acestea interacţionează cu corpurile de pe masă.

Veţi constata că magneţii folosiţi interacţionează numai cu corpurile de fier şi oţel, atrăgîndu-le (fig. 6.1, *a*).

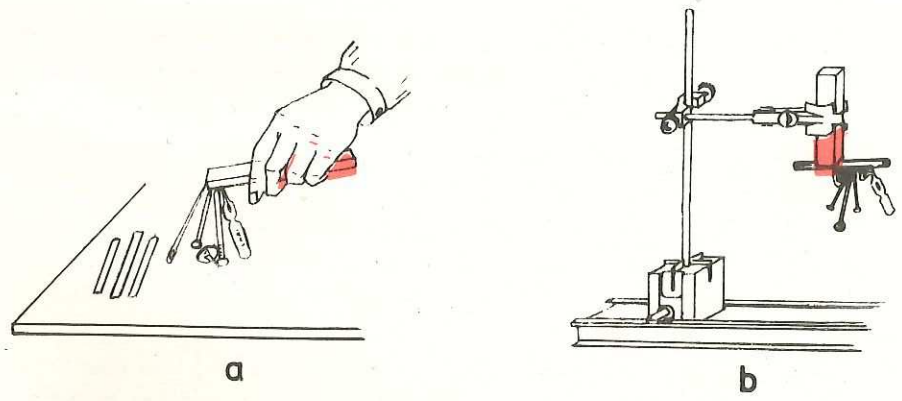


Fig. 6.1. *a)* Magneţii atrag corpurile de fier şi oţel; *b)* tija a devenit un magnet.

Concluzie. *Există corpuri care au proprietatea de a atrage corpurile care conțin fier; aceste corpuri au fost numite magneți.*

Numele magnet provine de la numele localității Magnezia (din Asia Mică), unde a fost descoperită magnetita, mineral care atrage corpurile de fier.

E | **Experimentul 2** Fixați magnetul bară într-un suport la o oarecare înălțime deasupra mesei. Apropiați de magnet o tijă de fier , pînă cînd tija se lipește de magnet (fig. 6.1, *b*). Apropiați de tijă mici corpuri de fier (ace, cuie, piuneze etc.). Veți constata că tija le atrage, deci a căpătat proprietăți magnetice, devenind ea însăși un magnet.
Îndepărtați tija de magnet. Veți observa că obiectele de fier care au fost atrase de tijă se vor desprinde de ea.

Aceasta dovedește că tija de fier capătă proprietăți magnetice, devenind magnet, numai atîta timp cît este în contact cu un magnet sau în imediata vecinătate a acestuia. În mod asemănător poate deveni magnet orice corp din fier (penița, acul, piuneza etc.).

Concluzie. *Un corp de fier, apropiat sau lipit de un magnet, capătă proprietăți magnetice, devenind el însuși magnet.*

Fenomenul prin care un corp capătă proprietăți magnetice se numește *magnetizare*.

Repetați experimentul 2, folosind în locul tijei de fier un ac de cusut (din oțel) și o bară (sau tijă) de oțel. Veți observa că aceste corpuri din oțel își păstrează proprietățile magnetice și după desprinderea lor de magnet.

Corpurile care își păstrează proprietățile magnetice și după desprinderea lor de magnet devin magneți permanenți.

Corpurile care își pierd proprietățile magnetice după desprinderea lor de magnet sînt magneți numai temporar, adică numai atîta timp cît sînt în contact sau în imediata vecinătate a unui magnet.

Unele aliaje ale fierului, cum sînt oțelurile, aliajele cu nichel sau cobalt devin prin magnetizare magneți permanenți. Alte aliaje ale fierului se magnetizează numai temporar.

Substanțele care sînt atrase de magneți și se pot magnetiza, devenind ele însele magneți, se numesc substanțe feromagnetice.

După locul și scopul în care sînt folosiți, magneții au diferite forme. Cei mai des folosiți sînt magneții liniari și magneții în formă de *U* (fig. 6.2). Există însă magneți de diverse forme în subansamblele electromagnetice folosite azi.

Un magnet liniar des întîlnit în experimentele de fizică este acul magnetic. Acesta este un magnet foarte subțire și bine calibrat. În majoritatea cazurilor acul magnetic se folosește într-un suport propriu, în echilibru pe un vîrf de

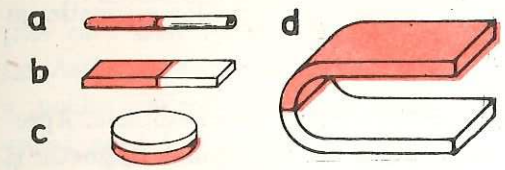


Fig. 6.2. Magneți permanenți:
a, b — magneți bară; *c* — magnet disc; *d* — magnet în formă de *U*.

Fig. 6.3. Acul magnetic în echilibru.

ac (fig. 6.3). În cele ce urmează, cînd spunem că plasăm acul magnetic, într-un punct, înțelegem că plasăm, în acel punct, acul magnetic montat în suportul său.

6.1.1. Poli magnetici

E | **Experimentul 3.** De tija orizontală a stativului montat ca în figura 6.4, suspendați dinamometrul (1 N) și de cîrligul acestuia agățați tija cu cîrlig pentru discuri crestate (din trusă). Apropiați magnetul bară de discul tijei cu cîrlig, de jos în sus, pînă la contact, în felul următor: întîi cu un capăt al magnetului, apoi cu celălalt capăt și apoi cu mijlocul magnetului. Trageți în jos magnetul pînă cînd se dezlipește de discul tijei. Notați de fiecare dată forța de atracție dintre magnet și disc.

Veți observa că magnetul atrage la fel de puternic în toate zonele de pe suprafața lui. Există însă două zone pe suprafața magnetului, în care interacția cu un corp feros este maximă. Aceste zone se numesc poli magnetici. Un magnet are doi poli magnetici.

Imaginați o metodă prin care să puteți determina polii magnetici ai unui magnet sferic nemarcat.

Dacă un magnet are doi poli magnetici, sînt oare cei doi poli identici ca manifestare fizică?

Din experimentul 3 ar rezulta că polii unui magnet sînt identici ca manifestare fizică, întrucît atrag la fel discul tijei.

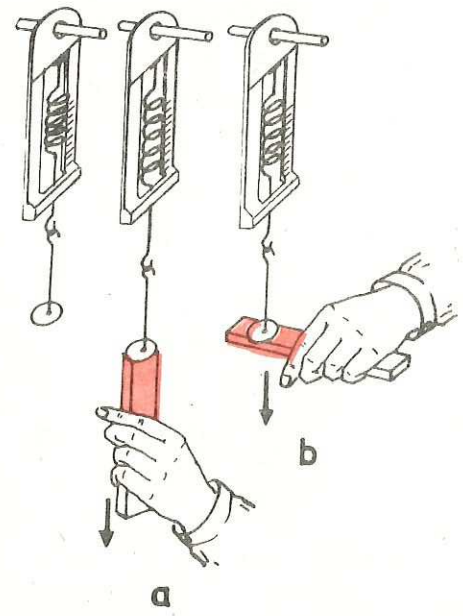


Fig. 6.4. Pentru experimentul 3.

Pentru a ne convinge de identitatea sau deosebirea polilor magnetici ai unui magnet, să realizăm un experiment.

E | **Experimentul 4.** Puneţi pe masă acul magnetic şi magnetul disc. Apropiaţi pe rînd magnetul bară cu acelaşi pol de polii acului magnetic şi al magnetului disc marcaţi cu roşu. Observaţi interacţia polului magnetului bară cu polii marcaţi cu roşu ai celor doi magneţi. Veţi constata fie atracţia, fie respingerea. Apropiaţi apoi celălalt pol al magnetului bară de aceiaşi poli marcaţi cu roşu ai magneţilor de pe masă. Veţi constata interacţie opusă faţă de primul caz.

Concluzie. *Polii magnetici ai magnetului bară sînt diferiţi ca manifestare fizică.*

Asemănător, puteţi dovedi, pentru orice magnet, că polii săi magnetici sînt diferiţi ca manifestare fizică.

E | **Experimentul 5.** Aşezaţi pe masă cele două ace magnetice în suporturile lor, cam la 40 cm unul de altul. La aproximativ 1 m de acestea, suspendaţi magnetul bară deasupra mesei, în echilibru stabil, cu axa orizontală (fig. 6.5).

Veţi observa, în momentul opririi acestora din oscilaţie, că toţi cei trei magneţi se orientează cu axa polilor magnetici pe o direcţie foarte apropiată de direcţia $S-N$ (geografică). Dacă dezechilibrăm cu mîna cei trei magneţi, după puţin timp, ei se vor reechilibra pe aceeaşi direcţie, fiecare cu acelaşi pol magnetic către nordul geografic ca înainte de dezechilibrare.

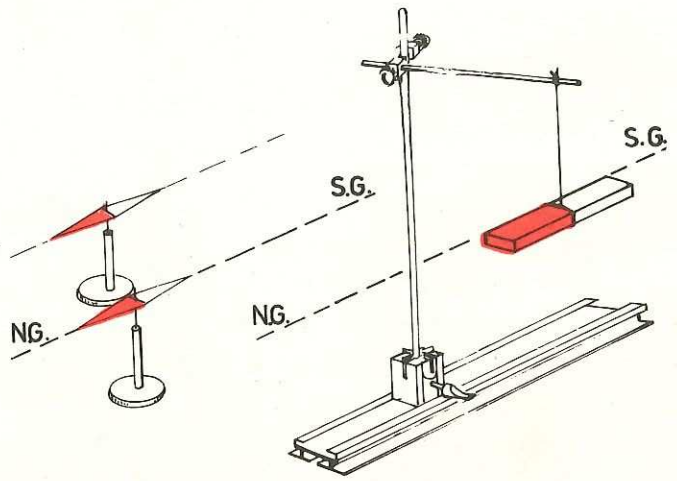


Fig. 6.5. Orice magnet se echilibrează cu axa polilor magnetici pe direcţia $S-N$ geografică.

În aceste condiţii, au fost notaţi, convenţional, cu N acei poli ai magneţilor care indicau nordul geografic şi cu S acei poli care indicau sudul geografic. Astfel au fost marcaţi polii magnetici ai magneţilor. Un mod de marcare a polilor magnetici ai unui magnet este vopsirea polului magnetic care indică nordul geografic.

6.2. Acţiunea reciprocă dintre magneţi

E | **Experimentul 6.** *a)* Apropiaţi unul de altul două ace magnetice marcate.

Veţi observa că acestea se rotesc şi oscilează de cîteva ori în suporturile lor pînă cînd se echilibrează cu polii de nume diferit faţă în faţă, la cea mai mică distanţă. Aceasta dovedeşte că polii de nume diferit a doi magneţi se atrag.

E | *b)* Aduceţi cele două ace magnetice cu polii de acelaşi nume faţă în faţă şi lăsaţi-le libere.

Veţi observa respingerea polilor magnetici de acelaşi nume, ai celor doi magneţi (fig. 6.6 *a*, *b*). În continuare, cele două ace magnetice se vor roti, vor oscila de cîteva ori şi se vor echilibra din nou cu polii de nume diferit faţă în faţă la cea mai mică distanţă (fig. 6.6, *c*).

Prin urmare, *doi magneţi se atrag cu polii de nume diferit şi se resping cu polii de acelaşi nume.*

Din experimentul 5, aţi constatat că acul magnetic se orientează întotdeauna cu axa pe direcţia $S-N$ geografică, astfel încît acelaşi pol magnetic al său să indice acelaşi pol geografic. Din experimentul 6, aţi constatat că un magnet acţionează asupra altui magnet: cu forţe de atracţie prin polii de nume diferit şi cu forţe de respingere prin polii de acelaşi nume.

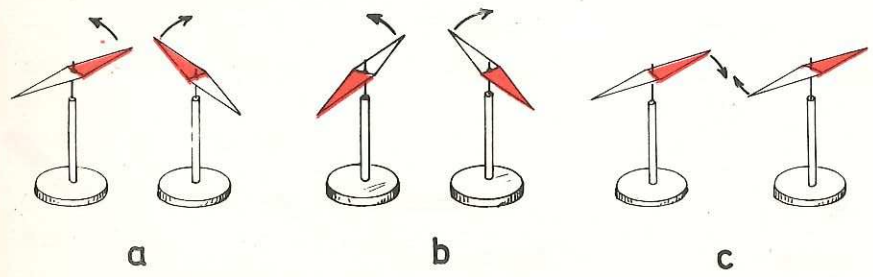


Fig. 6.6. Magneţii se resping cu polii de acelaşi nume *(a,b)* şi se atrag cu polii de nume diferite *(c)*.

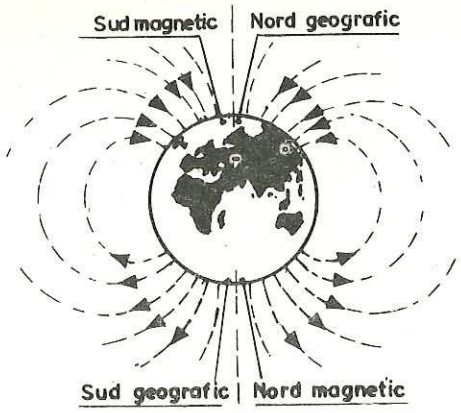


Fig. 6.7. Pămîntul este un mare magnet.

Întrebarea firească ce se ridică este: ce magnet acționează asupra unui ac magnetic orientîndu-l pe direcția $S—N$ geografică?

Este ușor să ne imaginăm că Pămîntul este magnetul care orientează acul magnetic pe o direcție apropiată de direcția $S—N$ geografică. Cunoscînd modul cum interacționează doi magneți, rezultă că: în apropierea polului N geografic al Pămîntului se află polul S magnetic al acestuia, iar în apropierea polului S geografic al Pămîntului se află N magnetic al acestuia (fig. 6.7).

Probleme

1. Doi magneți bară, cilindrici, sînt așezați pe o masă orizontală de lemn, ca în figura 6.8. Explicați efectul interacției lor după ce au fost lăsați liberi.

2. Un ac magnetic așezat pe suportul său se deplasează paralel cu magnetul bară așezat pe masă sub ac (fig. 6.9). Explicați ce orientare va avea acul magnetic față de bară atunci cînd se deplasează de la un capăt la celălalt al barei.

3. Un magnet în formă de U se așază pe masă astfel încît axa polilor săi magnetici să fie orizontală (fig. 6.10). Unde trebuie așezat acul magnetic față de magnetul U, pentru ca axa acului magnetic să fie paralelă cu axa polilor magnetici ai magnetului U?

4. Explicați două procedee experimentale prin care să puteți depista direcția $S—N$ a polilor magnetici ai unui magnet diform (ca un cartof).

5. Explicați cum putem depista existența unor minerale feroase în scoarța terestră în apropierea suprafeței Pămîntului.

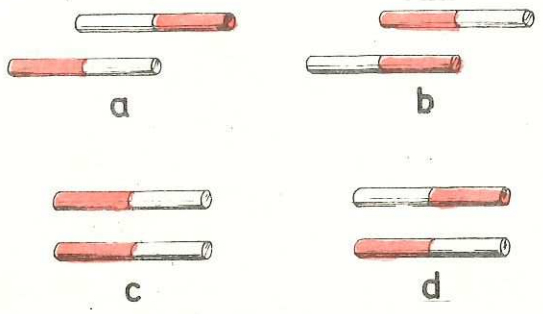


Fig. 6.8. Pentru problema 1.

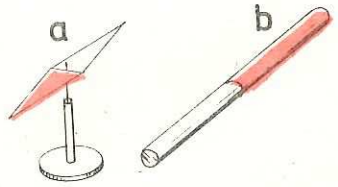


Fig. 6.9. Pentru problema 2.

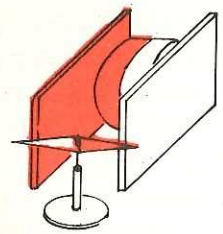


Fig. 6.10. Pentru problema 3.

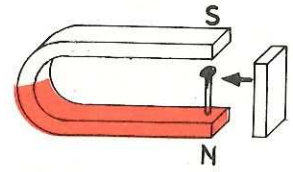


Fig. 6.11. Pentru problema 7.

Cum puteți determina poziția acestora precum și faptul că sînt sau nu minerale magnetice?

6. Frecați un ac de cusut din oțel de un pol al unui magnet și determinați prin două metode polii magnetici ai acului.

7. Determinați polii magnetici ai acului cu gămălie așezat pe unul din polii magnetului U, ca în figura 6.11. Cum se modifică poziția acului, atunci cînd alipim o bară de fier: de polul N al magnetului; de polul S al magnetului?

6.3. Experimentul lui Oersted

În lecțiile precedente ați învățat că un magnet acționează asupra altui magnet. La studiul efectelor curentului electric ați luat cunoștință de unul din cele mai importante efecte ale curentului electric, descoperit în 1820 de profesorul danez Hans Cristian Oersted: efectul magnetic al curentului electric.

E **Experimentul 7.** *Experimentul lui Oersted.* Prin orificiul îngust al unui carton plan treceți un conductor lung pe care îl montați vertical, întins între doi suporți ai unui stativ (fig. 6.12), astfel încît cartonul, suspendat și el, să aibă planul orizontal. În serie cu un reostat și cu un întrerupător conectați conductorul la 6 V_{cc} (reostatul trebuie să fie astfel potrivit,

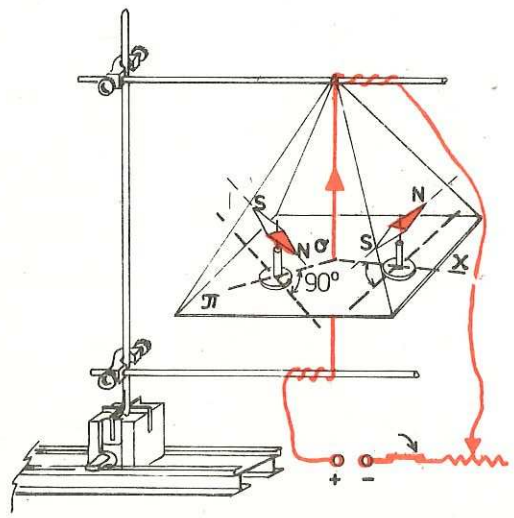


Fig. 6.12. Curentul electric liniar exercită acțiune asupra acului magnetic.

E | încît prin conductor să se stabilească un curent de maximum 5 A). Puneți acul magnetic pe carton într-un punct din vecinătatea conductorului și lăsați-l să se echilibreze (pe direcția $S—N$ geografică). Închideți circuitul electric al conductorului și veți observa că acul magnetic se va orienta pe o anumită direcție, perpendiculară pe conductor. Inversați sensul curentului prin conductor și veți constata că acul magnetic se va orienta pe aceeași direcție dar în sens opus față de primul caz. Întrerupeți curentul din conductor și veți observa că acul magnetic revine la orientarea inițială (direcția $S—N$ geografică). Repetați experimentul pentru încă două poziții distincte ale acului magnetic pe carton.

Veți constata același efect: asupra acului magnetic, se exercită acțiune magnetică numai cînd prin conductor trece curent electric.

Concluzii. *Conductorul liniar parcurs de curent electric exercită acțiune asupra acului magnetic. Sensul acțiunii conductorului parcurs de curent electric, asupra acului magnetic, se inversează o dată cu schimbarea sensului curentului electric prin conductor. Acțiunea conductorului asupra acului magnetic se exercită numai atîta timp cît prin el trece un curent electric.*

Curentul electric liniar determină ca spațiul din jurul lui să capete proprietăți magnetice evidențiate prin acțiuni asupra acului magnetic.

Se poate demonstra, experimental, că observațiile făcute în cadrul experimentului lui Oersted sînt valabile pentru orice circuit.

E | **Experimentul 8.** Realizați montajul din figura 6.13 și conectați bobina de 250 spire la 12 V_{cc} prin intermediul unui întrerupător. Plasați un ac magnetic în vecinătatea bobinei, în fața acesteia. Închideți circuitul bobinei. Veți observa că acul magnetic se va orienta pe o dreaptă paralelă cu axa bobinei, așa cum s-ar orienta în fața unui pol al magnetului bară, paralel cu axa polilor magnetului (fig. 6.13). Deschideți circuitul bobinei și veți observa că acul magnetic se va orienta pe direcția $S—N$ geografică. Inversați sensul curentului electric prin bobină. Veți constata că acul magnetic se va orienta din nou paralel cu axa bobinei dar în sens invers. Mutați acul magnetic într-un alt punct din vecinătatea bobinei și repetați experimentul. Veți constata aceleași efecte, cu singura deosebire că direcția de orientare a acului magnetic este alta față de cazul precedent.

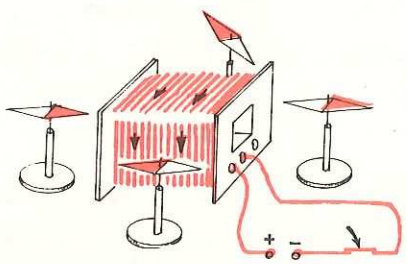


Fig. 6.13. Bobina parcursă de curent electric acționează ca un magnet.

Concluzii. *Bobina parcursă de curent electric acționează ca un magnet; ea se comportă ca un magnet bară. Polii magnetici ai bobinei se inversează o dată cu inversarea sensului curentului electric prin ea. Bobina acționează ca un magnet numai atîta timp cît este parcursă de curentul electric.*

Curentul electric din circuitul bobinei determină ca spațiul din jurul acestui circuit să capete proprietăți magnetice, evidențiate prin acțiunea acestuia asupra acului magnetic.

Din experimentele 7 și 8 rezultă că orice circuit parcurs de curent electric exercită acțiuni magnetice în spațiul din jurul său.

6.4. Cîmpul magnetic

În cadrul experimentelor 4, 7 și 8, ați constatat că în spațiul din jurul unui magnet și în spațiul din jurul unui circuit parcurs de curent electric se exercită acțiuni asupra acului magnetic. Prin urmare, în prezența magneților și a circuitelor parcurse de curenți electrici, materia din jurul acestora capătă proprietăți magnetice, acționînd asupra acului magnetic.

Proprietățile magnetice ale spațiului din jurul magneților și al circuitelor parcurse de curent electric ilustrează o nouă formă de manifestare a materiei din acel spațiu, numită cîmp magnetic.

Cîmpul magnetic este o formă de existență a materiei care se manifestă prin interacțiuni magnetice.

Magneții și circuitele parcurse de curent electric produc cîmp magnetic în jurul lor, așadar își exercită acțiunea asupra acului magnetic aflat în vecinătatea lor prin intermediul cîmpului magnetic pe care îl produc.

Cînd ați studiat cîmpul electric din jurul unui corp electrizat, ați ales un model de descriere a acestuia și anume: descrierea cîmpului electric cu ajutorul liniilor de cîmp electric. Un model asemănător de descriere vom utiliza și pentru cîmpul magnetic.

Pentru vizualizarea liniilor de cîmp magnetic, vom folosi pilitură foarte fină de fier. Pilitura este alcătuită din mici ace de fier rezultate în urma pilirii unei bare de fier.

E | **Experimentul 9.** Pe o foaie de hîrtie albă, aflată pe masă, puneți pilitură de fier (cam 2—3 cm^3). Rostogoliți ușor magnetul bară peste pilitura de fier, astfel încît magnetul să se încarce uniform cu pilitură de fier. Prindeți magnetul de mijloc cu două degete și ciocăniți-l ușor cu un electrod de zinc.

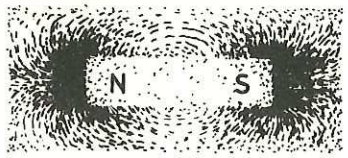


Fig. 6.14. Spectrul de linii al cîmpului magnetic produs de un magnet bară în jurul său.

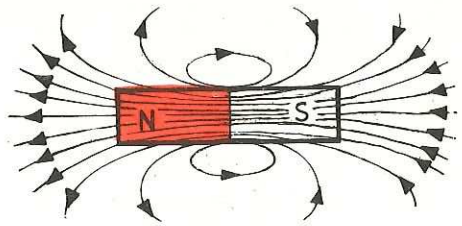


Fig. 6.15. Imagine simbolică a spectrului din figura 6.14.

Veţi observa o anumită dispunere a micilor ace de pilitură de fier, după o mulţime de linii curbe (fig. 6.14), pe care le numim linii de cîmp magnetic.

Ceea ce aţi obţinut se numeşte spectrul de linii al cîmpului magnetic produs de magnetul bară în jurul său sau spectrul cîmpului magnetic al magnetului bară.

Lucrînd cu multă grijă, veţi obţine un spectru de linii curbe şi simetrice care ies dintr-un pol al magnetului şi intră în celălalt pol al acestuia.

Aşezaţi acul magnetic în diverse puncte din jurul magnetului: la poli şi lateral. Veţi observa că acesta se orientează tangent la liniile de cîmp magnetic.

Aşadar, linia de cîmp magnetic este linia tangentă în orice punct al ei la direcţia acului magnet.

Folosind convenţia ca sensul de la S la N al acului magnetic tangent la linia de cîmp magnetic într-un punct al ei, să fie sensul liniei de cîmp magnetic, dăm liniei de cîmp magnetic un sens convenţional. Cu această convenţie constatăm:

— liniile de cîmp magnetic ies din polul N al magnetului şi intră în polul S al acestuia;

— în interiorul magnetului, liniile de cîmp magnetic se închid de la S la N, deci liniile de cîmp magnetic sînt curbe închise.

În desenul din figura 6.15 este prezentat simbolic spectrul de linii al cîmpului magnetic produs de magnetul bară în jurul său. Cu ajutorul piliturii de fier puteţi obţine spectrul de linii pentru orice cîmp magnetic, iar cu ajutorul acului magnetic puteţi determina sensul liniilor acelui cîmp magnetic folosind convenţia de sens stabilită.

6.4.1. Spectrul cîmpului magnetic al curentului electric rectiliniu

E | **Experimentul 10.** Realizaţi montajul din experimentul lui Oersted. Presăraţi pilitură de fier, pe carton, în jurul conductorului vertical şi stabiliţi curent electric prin acest conductor. Ciocăniţi cu degetul pe carton şi observaţi dispunerea piliturii de fier după cercuri concentrice cu centrul pe conductor. Acul magnetic aşezat în suportul său pe carton,

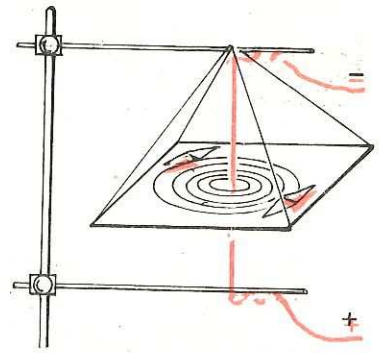


Fig. 6.16. Spectrul cîmpului magnetic produs de curentul electric liniar în jurul său.

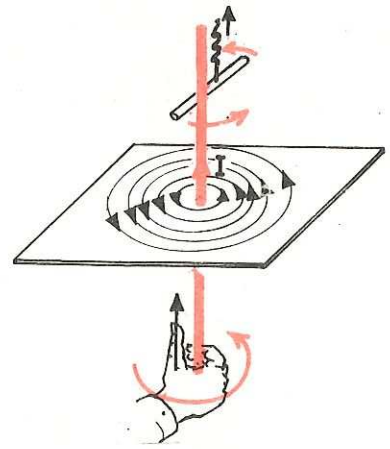


Fig. 6.17. Regula burghiului drept (sau regula tirbuşonului) pentru determinarea sensului liniilor cîmpului magnetic al curentului electric liniar.

în diverse puncte de pe cercuri, se orientează tangent la aceste cercuri. Inversaţi sensul curentului electric prin conductor şi veţi observa că, pilitura de fier rămîne ordonată pe aceleaşi cercuri, în timp ce acul magnetic îşi inversează sensul.

Concluzii. *Spectrul cîmpului magnetic produs de curentul electric liniar în jurul său este alcătuit din cercuri cu centrele pe conductorul străbătut de curent şi cu planele perpendiculare pe acest conductor (fig. 6.16). Sensul liniilor cîmpului magnetic se inversează, atunci cînd curentul electric îşi inversează sensul. Liniile cîmpului magnetic sînt tangente în fiecare punct la direcţia acului magnetic.*

Analizînd sensul liniilor cîmpului magnetic al curentului electric liniar dat de orientarea acului magnetic în raport cu sensul curentului electric prin conductor, putem stabili o regulă practică de determinare a sensului acestor linii de cîmp magnetic, fără a folosi acul magnetic. Este vorba de aşa-numita *regulă a burghiului drept* (sau regula tirbuşonului): sensul liniilor cîmpului magnetic al curentului electric liniar este sensul în care trebuie rotit burghiul (tirbuşonul) aşezat de-a lungul conductorului, pentru a înainta în sensul curentului electric prin conductor (fig. 6.17).

6.4.2. Spectrul cîmpului magnetic produs de o bobină parcursă de curent electric.

În experimentul 8 aţi constatat că o bobină parcursă de curent electric acţionează ca un magnet. Experimental, se arată că spectrul cîmpului magnetic produs de o bobină parcursă de curent electric este identic cu spectrul cîmpului magnetic al unui magnet bară (fig. 6.18). În interiorul bobinei parcursă de curent electric, spectrul magnetic este alcătuit din linii de acelaşi sens, paralele cu axa bobinei.

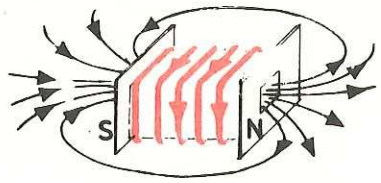


Fig. 6.18. Spectrul cîmpului magnetic produs de curentul electric care parcurge o bobină, imagine simbolică.

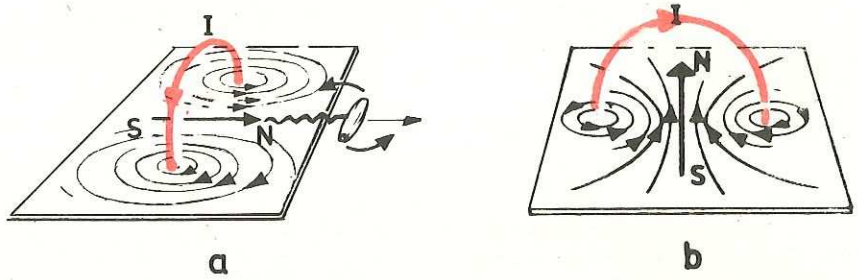


Fig. 6.19. Spectrul cîmpului magnetic creat de o spiră circulară.

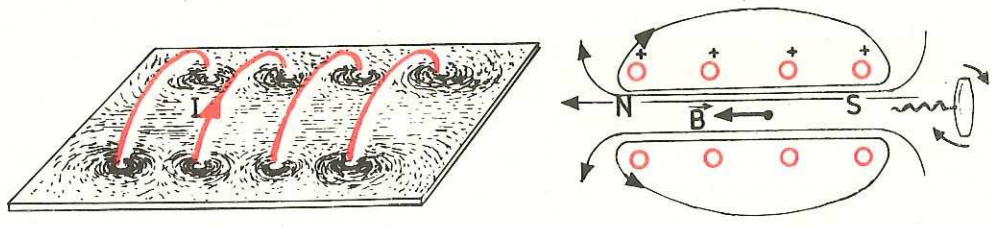


Fig. 6.20. Spectrul cîmpului magnetic pentru un solenoid.

În figurile 6.19 și 6.20 sînt prezentate spectrele de linii ale cîmpurilor magnetice produse de un curent electric circular care parcurge o spiră (fig. 6.19, *a* și *b*) și, respectiv, un solenoid (fig. 6.20). Solenoidul este o bobină a cărei lungime este mult mai mare decît diametrul unei spire.

Sensul liniilor cîmpului magnetic, ce străbat suprafața unei spire, este sensul de avans al burghiului așezat perpendicular pe suprafața spirei, cînd este rotit în sensul curentului electric din spiră. Se observă că liniile de cîmp magnetic intră printr-o față a spirei și ies prin cealaltă față. Așadar, spira parcursă de curent electric se comportă ca un magnet foarte scurt pe care-l numim foiță magnetică. Fața spirei prin care intră liniile de cîmp magnetic este polul sud, iar fața spirei din care ies liniile de cîmp este polul nord.

Sensul liniilor cîmpului magnetic produs în interiorul unui solenoid, de către curentul electric ce străbate spirele acestuia, se determină la fel ca la spiră. Fiind alcătuit din mai multe spire, solenoidul se comportă ca un magnet

bară: capătul solenoidului prin care intră liniile de cîmp magnetic este polul sud al solenoidului, iar capătul prin care ies liniile de cîmp este polul nord al solenoidului (fig. 6.20).

Probleme

1. Desenați spectrul de linii pentru cîmpul magnetic al unui magnet în formă de *U* și explicați forma și sensul liniilor de cîmp.

2. Desenați spectrul de linii pentru cîmpul magnetic produs de curentul electric ce străbate spirele unui multiplicator. Explicați forma și sensul liniilor de cîmp. Multiplicatorul este o bobină scurtă a cărei lungime este mult mai mică decît diametrul unei spire.

3. Descrieți asemănarea și deosebirea dintre cîmpurile magnetice produse de un curent electric liniar și respectiv de un curent electric circular. Analizați figura 6.17 și formulați o regulă de determinare a sensului liniilor cîmpului magnetic produs de curentul electric liniar, folosind mîna dreaptă.

4. Explicați interacțiunea sistemelor prezentate în figura 6.21. Care va fi efectul acestei interacțiuni, dacă săgețile ar indica sensul liniilor de cîmp magnetic prin cele două spire?

5. Dacă în figura 6.21, săgețile indică sensul de deplasare a celor două spire parcurse de curent electric, stabiliți polaritatea electrică la bornele celor două spire.

6. În figura 6.22, săgețile indică sensul forțelor de interacțiune dintre cele două bobine. Stabiliți polaritatea electrică, la capetele bobinelor, care face posibilă interacțiunea indicată de săgeți.

7. În figura 6.23, cilindrul metalic de deasupra bobinei se află în echilibru în aer, fără să aibă contact cu bobina. Precizați natura cilindrului metalic și marcați pe desen polii nescriși.

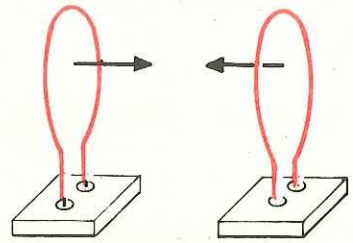


Fig. 6.21. Pentru problemele 4 și 5.

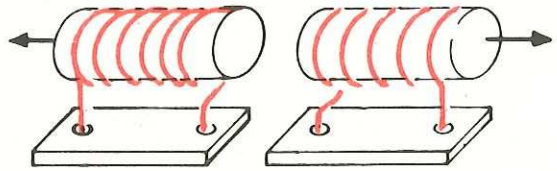


Fig. 6.22. Pentru problema 6.

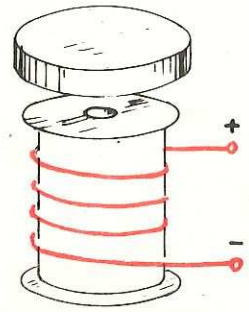


Fig. 6.23. Pentru problema 7.

6.5. Electromagneții și aplicațiile lor

Ați învățat că o bobină parcursă de curent se comportă ca un magnet liniar a cărui polaritate magnetică depinde de sensul curentului electric prin spirele sale.

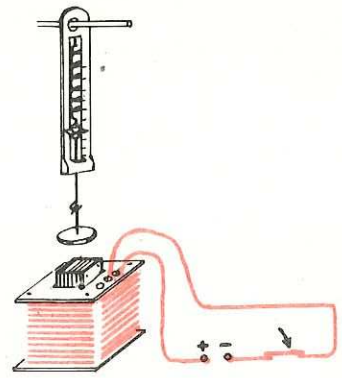


Fig. 6.24. Pentru experimentul 11.

E **Experimentul 11.** Conectați bobina de 250 spire la 12 V_{cc} și măsurați forța cu care bobina devenită magnet atrage discul tijei cu cîrlig, agățată de tija dinamometrului (fig. 6.24). Cu ajutorul acului magnetic, stabiliți polaritatea magnetică a bobinei parcursă de curent electric. Introduceți miezul de fier în bobină și măsurați forța cu care noul sistem atrage discul. Veți constata că ea este mult mai mare decît în cazul precedent (cam de 150 ori mai mare).

Deci, forța de atracție exercitată de o bobină parcursă de curent electric este mai mare, cînd în bobină se introduce un miez de fier.

Verificați polaritatea magnetică a noului sistem și veți constata că nu s-a modificat. Miezul de fier introdus în bobina parcursă de curentul electric nu modifică polii magnetici ai bobinei ci numai forța de atracție a acesteia.

Întrerupeți curentul electric din bobină, și veți constata că miezul de fier nu mai atrage discul. Deci miezul de fier aflat în bobină devine magnet, numai atît timp cît prin spirele bobinei trece un curent electric.

Sistemul alcătuit dintr-o bobină în interiorul căreia se află un miez de fier se numește *electromagnet*.

Inversați sensul curentului electric prin bobina electromagnetului și veți observa că se inversează polii magnetici ai acestuia.

6.5.1. Forța de atracție a electromagnetului

E **Experimentul 12.** Cu două bobine de 2 × 250 spire fiecare și cu două miezuri de fier *I*, formați doi electromagneți. Legați apoi în serie bobina de 250 spire a unui electromagnet cu bobina de 500 spire a celuilalt electromagnet și, conectați această serie la 12 V_{cc}, pentru a face ca intensitatea curentului electric prin cele două bobine să fie aceeași. Măsurați forța de atracție exercitată de fiecare dintre cei doi electromagneți asupra discului tijei cu cîrlig.

Veți constata că forța de atracție a electromagnetului cu 500 spire este mai mare decît forța de atracție a electromagnetului cu 250 spire.

Forța de atracție exercitată de electromagnet asupra unui obiect din fier este mai mare atunci cînd bobina electromagnetului are mai multe spire.

E **Experimentul 13.** Conectați bobina unui electromagnet la 6 V_{cc} și apoi la 12 V_{cc}. În al doilea caz, bobina va fi parcursă de un curent electric cu intensitatea dublă, față de primul caz. De fiecare dată, măsurați forța de atracție exercitată de electromagnet asupra discului tijei cu cîrlig agățată de tija dinamometrului.

Veți constata că forța de atracție este mai mare atunci cînd intensitatea curentului electric prin bobină este mai mare.

Forța de atracție exercitată de un electromagnet asupra unui obiect de fier este mai mare atunci cînd intensitatea curentului electric prin spirele bobinei electromagnetului este mai mare.

E **Experimentul 14.** Cu o bobină de 250 spire și cu miezul de fier în formă de *U*, formați un electromagnet (fig. 6.25). Conectați bobina electromagnetului la 12 V_{cc}. Atingeți și apoi trageți, pentru a desprinde miezul de fier *I* întîi de un pol al electromagnetului și apoi de ambii poli ai acestuia.

Veți constata că forța de atracție exercitată de electromagnet asupra miezului de fier *I* este mai mare cînd acesta este lipit de ambii poli.

Forța de atracție exercitată de un electromagnet asupra unui obiect de fier este mai mare, atunci cînd obiectul de fier închide miezul de fier al electromagnetului.

Comparînd un electromagnet cu un magnet permanent, constatăm următoarele:

— polii magnetici ai unui electromagnet se pot inversa, pe cînd la magneți nu putem realiza acest lucru;

— forța de atracție exercitată asupra obiectelor de fier poate fi reglată după voie la electromagneți, pe cînd la magneți aceasta rămîne constantă.

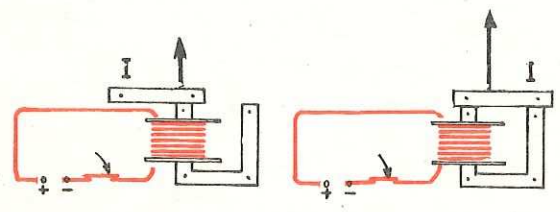


Fig. 6.25. Forța de atracție exercitată de un electromagnet asupra unui obiect de fier, în două situații.

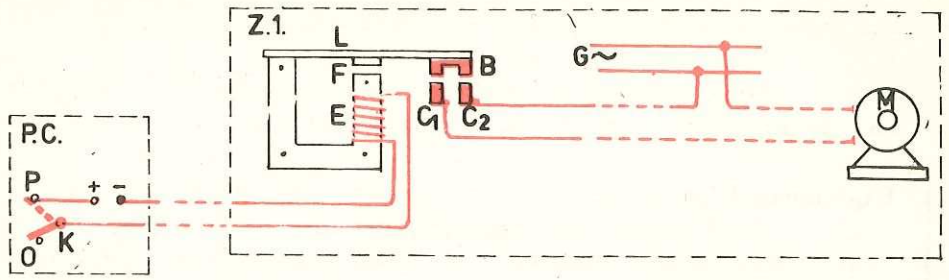


Fig. 6.26. Releul electromagnetic pentru comanda pornirii și opririi unui electromotor aflat la distanță.

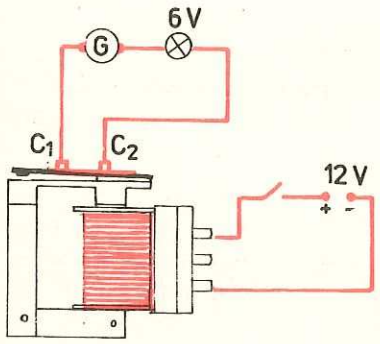


Fig. 6.27. Schema de ansamblu a unui releu electromagnetic cu piesele din trusa de fizică.

Aceste calități suplimentare ale electromagneților în raport cu magneții permanenți au oferit posibilitatea utilizării lor într-un domeniu foarte larg de aplicații practice și tehnice.

În cele ce urmează sînt prezentate cîteva aplicații ale electromagneților.

6.5.2. **Releul electromagnetic.** Este un dispozitiv cu care se comandă, de la distanță,închiderea și deschiderea rețelelor electrice cu tensiuni periculoase sau alte circuite și mecanisme, pentru a economisi timp și energie și a asigura securitatea omului. În figura 6.26 este prezentată schema de principiu a unui releu electromagnetic folosit la comanda pornirii și opririi de la distanță a unui motor electric, de la un pupitru de comandă.

Piesa principală din construcția releului electromagnetic este electromagnetul E care atrage piesa de fier F de pe lama elastică L, atunci cînd se închide circuitul (poziția KP) releului de la pupitrul de comandă PC. Piesa de contact B scurtcircuitează contactorii C_1 și C_2 și închide circuitul motorului M. Pentru oprirea motorului se pune întrerupătorul K în poziția O.

Temă experimentală. Cu piesele din trusă asamblați releul electromagnetic prezentat în figura 6.27 și puneți-l în funcțiune.

6.5.3. **Soneria electrică.** Construcția soneriei electrice este prezentată în figura 6.28. Piesa de bază în construcția soneriei electrice este electromagnetul E. Funcționarea se poate urmări pe schemă. Apăsînd pe butonul $\hat{I}$ (întrerupător), închidem circuitul electric al soneriei. Curentul care trece prin bobina electromagnetului face ca electromagnetul să atragă plăcuța de fier F și ciocănelul de la capătul lamei elastice L să lovească clopotul, producînd un sunet. Atracția plăcuței de fier întrerupe contactul șurubului S și circuitul se întrerupe. Lama L revine la poziția inițială și restabilește contactul cu șurubul S. În felul acesta curentul electric trece din nou prin electromagnet și se produce următoarea lovitură a ciocănelului pe clopot. Procesele se repetă.

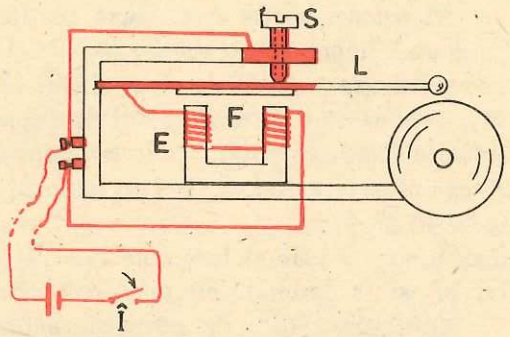


Fig. 6.28. Soneria electrică.

Soneria electrică se folosește ca avertizor sonor.

6.5.4. **Macaraua electromagnetică.** În figura 6.29, *a* este prezentată construcția unei macarale electromagnetice a cărei piesă de bază este electromagnetul în formă de clopot (fig. 6.29, *b*). Ea se folosește la ridicarea și transportul obiectelor de fier, greu de manevrat.

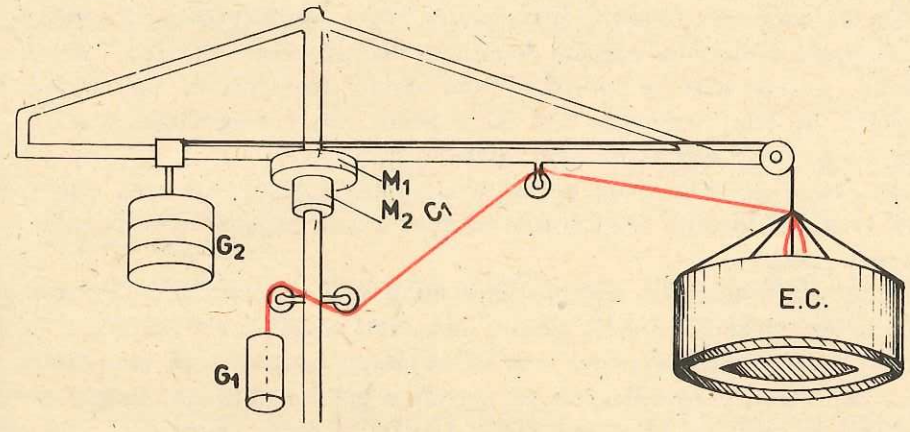


Fig. 6.29. Macaraua electromagnetică:
EC — electromagnet clopot (vezi și figura *b*); M_1M_2 — electromotoare; G_2 — contragreutăți; G_1 — greutăți; C_1 — cablu electric racordat la pupitrul de comandă.

Funcționarea. Se deplasează platforma macaralei, astfel încît electromagnetul clopot să fie deasupra obiectelor de Fe ce urmează a fi ridicate. Se racordează pupitrul de comandă la rețeaua electrică. Cu ajutorul motorului M_2, se coboară electromagnetul deasupra obiectelor de fier și se închide circuitul electromagnetului de la pupitrul de comandă. Atunci electromagnetul atrage obiectele de fier. Tot cu motorul M_2 se ridică electromagnetul, iar cu motorul M_1 se rotește macaraua pînă cînd electromagnetul ocupă poziția normală unde trebuie să lase obiectele. Se coboară electromagnetul cu ajutorul lui M_2 și se deschide circuitul electromotorului pentru a elibera obiectele.

Contragreutățile de pe carul mobil folosesc la echilibrarea macaralei încărcate. Atenție! Electromagnetul funcționează numai în curent continuu.

6.6. Interacțiunea dintre un cîmp magnetic și un curent electric

Studiind proprietățile magnetice ale circuitelor parcurse de curenți electrici, ați constatat că orice circuit parcurs de un curent electric exercită acțiune asupra unui magnet din vecinătatea sa. Acțiunea circuitului parcurs de curent electric asupra magnetului din vecinătate se realizează prin intermediul cîmpului său magnetic. Conform principiului acțiunilor reciproce, și magnetul din vecinătatea circuitului parcurs de curent electric exercită acțiune asupra circuitului, acțiune care se realizează prin cîmpul magnetic al magnetului.

Așadar, un cîmp magnetic exercită acțiune asupra magneților și a circuitelor parcurse de curent electric aflate în acel cîmp.

Pînă acum, am evidențiat acțiunea cîmpului magnetic al unui circuit parcurs de curent electric asupra unui magnet mobil, folosind acul magnetic ca magnet mobil.

Putem însă evidenția și acțiunea unui cîmp magnetic asupra unui circuit parcurs de curent electric, dacă plasăm un circuit mobil în cîmpul magnetic respectiv. Drept cîmp magnetic, vom folosi cîmpul magnetic al magnetului disc (ale cărui linii perpendiculare pe suprafața polului nord sînt îndreptate pe verticală în sus), iar ca circuit mobil folosim o bobină cadru (fig. 6.30.).

E **Experimentul 15.** Suspendați bobina cadru cu 20 spire într-un suport astfel încît latura inferioară a cadrului să fie orizontală și situată la 3—4 mm deasupra polului *N* al magnetului disc (fig. 6.30, *a*). Conectați bobina cadru la 4 V_{cc} pentru a stabili curent electric prin spirele sale. Veți observa că bobina cadru se deplasează pe o direcție care este perpendiculară atît pe latura inferioară a cadrului cît și pe liniile cîmpului magnetic (fig. 6.30, *a*). Cadrul oscilează de cîteva ori și apoi se echilibrează într-o poziție oblică. Întrerupeți curentul electric prin bobină și observați ce se întîmplă în acest caz.

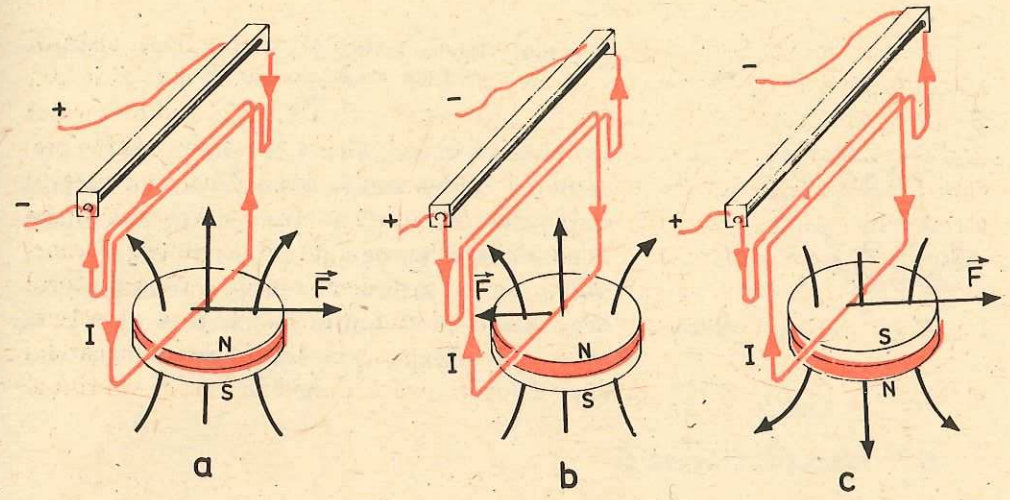


Fig. 6.30. Sensul forței electromagnetice depinde de: sensul curentului electric *(a* și *b)*; sensul liniilor cîmpului magnetic *(c)*.

Întrucît cadrul deviază numai atunci cînd prin spirele sale trece curent electric, înseamnă că interacțiunea se exercită între cîmpul magnetic al magnetului disc și curentul electric prin latura inferioară a cadrului.

Prin urmare, un cîmp magnetic exercită acțiune asupra unui circuit parcurs de curent electric.

Forța exercitată de un cîmp magnetic asupra unui conductor parcurs de curent electric aflat în acel cîmp o numim forță electromagnetică.

Forța electromagnetică este perpendiculară atît pe conductorul străbătut de curent electric cît și pe liniile cîmpului magnetic în care se află conductorul (fig. 6.30).

Inversînd sensul curentului electric prin bobina cadru, veți observa că se inversează și sensul forței electromagnetice, latura inferioară a cadrului deviind în sens invers (fig. 6.30, *b*) față de primul caz (fig. 6.30, *a*).

Sensul forței electromagnetice depinde de sensul curentului electric din conductor.

Așezați magnetul disc cu polul *S* deasupra, pentru a inversa sensul liniilor cîmpului magnetic ce intersectează conductorul. Veți observa că se inversează și sensul forței electromagnetice (fig. 6.30, *c*).

Sensul forței electromagnetice depinde de sensul liniilor cîmpului magnetic în care se află conductorul parcurs de curent electric.

Fizicianul german Flemming a stabilit o regulă practică pentru determinarea sensului forței electromagnetice, numită regula mîinii stîngi: sensul

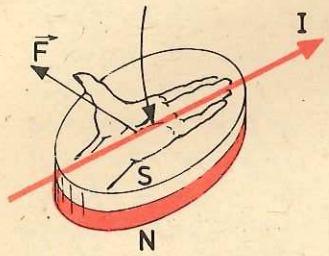


Fig. 6.31. Regula mîinii stîngi pentru determinarea sensului forţei electromagnetice.

forţei electromagnetice este indicat de degetul mare al mîinii stîngi, deschis lateral, atunci cînd palma mîinii stîngi este aşezată de-a lungul conductorului parcurs de curent electric cu cele patru degete întinse în sensul curentului electric, astfel încît liniile de cîmp magnetic să intre în palmă, perpendicular pe aceasta (fig. 6.31).

6.7. Inducţia magnetică

În cadrul experimentului 15 aţi constatat că un cîmp magnetic acţionează asupra unui circuit parcurs de curent electric cu o forţă bine definită ca direcţie şi sens, numită forţă electromagnetică. Experimental putem stabili de cine depinde mărimea (modulul) forţei electromagnetice.

E **Experimentul 16.** Folosiţi acelaşi montaj din experimentul 15. Conectaţi bobina cadru la 2 V_{cc} pentru a fi străbătută de un curent de o anumită intensitate şi observaţi mărimea deviaţiei bobinei cadru. Conectaţi apoi bobina cadru la 4 V_{cc} pentru a fi străbătută de un curent cu intensitate dublă faţă de cazul precedent. Veţi observa că deviaţia cadrului este mai mare, justificînd o forţă electromagnetică mai mare.

Concluzie. *Mărimea forţei electromagnetice depinde de intensitatea curentului electric prin conductor.*

Măsurători de precizie au dovedit că forţa electromagnetică este direct proporţională cu intensitatea curentului electric din conductorul aflat în cîmpul magnetic:

$$F \sim I.$$

Introduceţi sub bobina cadru al doilea magnet disc, pe care îl aşezaţi lîngă celălalt de-a lungul laturii inferioare a cadrului, astfel încît aceasta să se afle în cîmpul magnetic pe distanţă dublă faţă de cazul precedent (fig. 6.32). Conectaţi bobina cadru la 4 V_{cc} şi veţi observa că deviaţia cadrului este mai mare decît în cazul precedent, justificînd o forţă electromagnetică mai mare.

Concluzie. *Mărimea forţei electromagnetice depinde de lungimea conductorului parcurs de curent electric, aflat în cîmp.*

Măsurători de precizie au dovedit că forţa electromagnetică este direct proporţională cu lungimea porţiunii de conductor străbătut de curent electric aflată în cîmpul magnetic:

$$F \sim l.$$

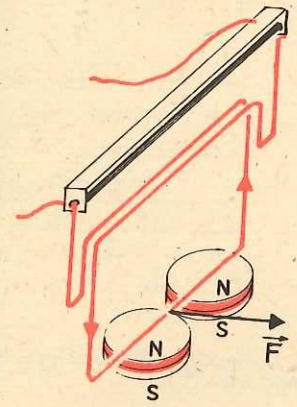


Fig. 6.32. Forţa electromagnetică depinde de lungimea conductorului aflat în cîmp.

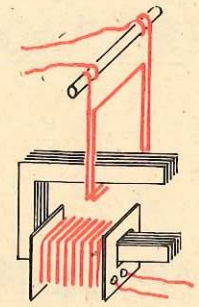


Fig. 6.33. Forţa electromagnetică depinde de inducţia cîmpului magnetic.

S-a constatat că forţa electromagnetică depinde şi de cîmpul magnetic în care se află circuitul parcurs de curent electric.

E **Experimentul 17.** Cu o bobină de 250 spire şi cu miezul de fier în formă de *U*, echipaţi un electromagnet. Suspendaţi bobina cadru cu 20 spire într-un suport, astfel încît latura inferioară a cadrului în echilibru să fie în poziţie orizontală, între polii electromagnetului, fără a-i atinge (fig. 6.33). Alimentaţi bobina cadru la 3 V_{cc}. Alimentaţi bobina electromagnetului la 6 V_{cc}, pentru a produce un cîmp magnetic între polii electromagnetului. Observaţi deviaţia bobinei cadru. Alimentaţi apoi bobina electromagnetului la 12 V_{cc}, pentru a produce între polii acestuia un cîmp magnetic mai puternic. Veţi observa că bobina cadru este deviată mai puternic de noul cîmp magnetic, cu toate că ea este străbătută de acelaşi curent şi că se află pe aceeaşi lungime din latura sa inferioară în noul cîmp magnetic, ca şi în cazul precedent.

Concluzie. *Forţa electromagnetică depinde de o mărime ce este caracteristică cîmpului magnetic.*

Mărimea ce caracterizează un cîmp magnetic din punct de vedere al intensităţii interacţiei sale cu un circuit parcurs de curent electric aflat în acel cîmp, o numim inducţie magnetică a acelui cîmp magnetic şi o notăm cu B.

Inducţia magnetică este o mărime vectorială.

În modelul de linii al cîmpului magnetic, inducţia magnetică într-un punct al cîmpului se reprezintă printr-un vector tangent la linia de cîmp ce trece prin acel punct şi avînd acelaşi sens cu ea (fig. 6.34, *a*).

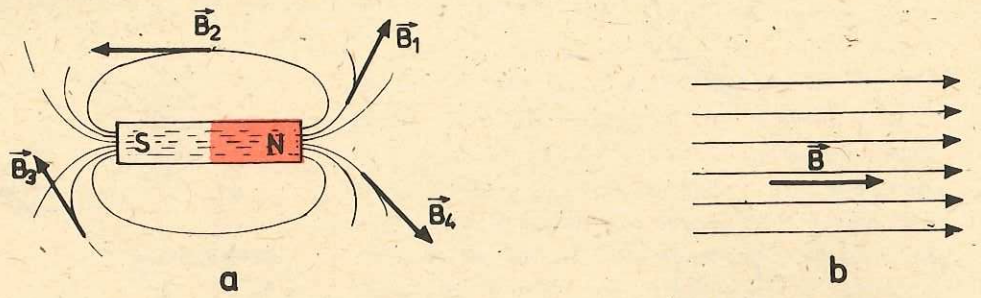


Fig. 6.34. Inducția magnetică este un vector tangent la linia de cîmp magnetic în orice punct al acesteia *(a)*; cîmp magnetic uniform *(b)*.

Un cîmp magnetic a cărui inducție magnetică este aceeași în orice punct se numește cîmp magnetic uniform. Un astfel de cîmp se reprezintă grafic ca în figura 6.34, *b*.

Dintre două cîmpuri magnetice care acționează independent asupra aceluiași circuit parcurs de același curent, spunem că are inducția magnetică mai mare, acel cîmp magnetic care exercită o forță electromagnetică mai mare.

Forța electromagnetică exercitată de un cîmp magnetic uniform asupra unui circuit parcurs de curent electric, aflat în acel cîmp, este direct proporțională cu inducția magnetică a cîmpului magnetic:

$$F \sim B.$$

Din cele trei rezultate obținute, privind mărimea forței electromagnetice, concluzionăm:

$$F \sim I \cdot l \cdot B.$$

Forța electromagnetică exercitată de un cîmp magnetic uniform asupra unei porțiuni de circuit străbătut de curent electric este direct proporțională cu intensitatea curentului electric ce străbate circuitul, cu lungimea porțiunii de circuit aflată în cîmp și cu inducția magnetică a cîmpului magnetic.

6.8. Interacțiunea dintre două circuite parcurse de curenți electrici

E **Experimentul 18.** Suspendați într-un suport cele două bobine cadru, față în față, astfel încît planele lor verticale să fie paralele (fig. 6.35). Potriviți distanța dintre ele la aproximativ 1,5 cm. Conectați cele două

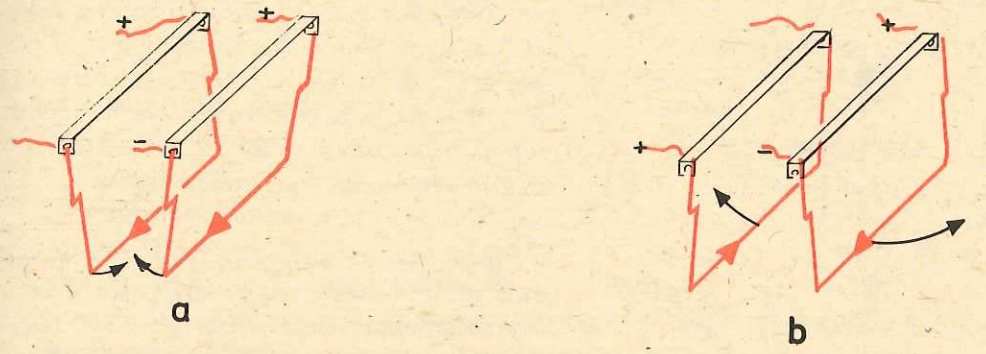


Fig. 6.35. Curenții electrici de același sens se atrag *(a)*; curenții electrici de sens contrar se resping *(b)*.

bobine cadru în paralel, la 3 V_{cc}, astfel încît curenții paraleli din spirele lor să aibă același sens. Veți observa că bobinele se atrag (fig. 6.35, *a*). Inversați sensul curentului electric în una din cele două bobine și veți observa că bobinele se resping (fig. 6.35, *b*).

Concluzie. *Două circuite paralele parcurse de curenți electrici de același sens se atrag; cînd sînt parcurse de curenți electrici de sens invers, se resping.*

Mai simplu putem spune: curenții electrici de același sens se atrag, iar curenții electrici de sens contrar se resping.

6.9. Aplicații ale interacțiunilor electromagnetice

Cunoaștem că forța electromagnetică exercitată de un cîmp magnetic uniform, asupra unui circuit aflat în acel cîmp, este direct proporțională cu intensitatea curentului electric ce străbate circuitul. Rezultă că putem evalua intensitatea curentului electric ce străbate un circuit, dacă cunoaștem forța exercitată de cîmpul magnetic în care se află circuitul asupra curentului electric din acel circuit. Astfel a apărut ideea construirii aparatelor cu care să se poată măsura intensitatea curentului electric dintr-un circuit. La baza funcționării acestor aparate stă interacțiunea dintre un cîmp magnetic și un curent electric.

6.9.1. **Ampermetrul cu magnet permanent fix și cu bobină mobilă.** În construcția acestui aparat distingem două echipamente de bază: echipamentul fix — constituit dintr-un magnet permanent fixat pe șasiul aparatului și echipamentul mobil — constituit dintr-o bobină cadru montată în cîmpul magnetic dintre polii magnetului fix, prin două vîrfuri de ac fixate pe bobină și așezate în două lagăre L_1 și L_2 (fig. 6.36). Capetele bobinei cadru se conectează la cele două vîrfuri de ac pe care mai sînt fixate și capetele celor două

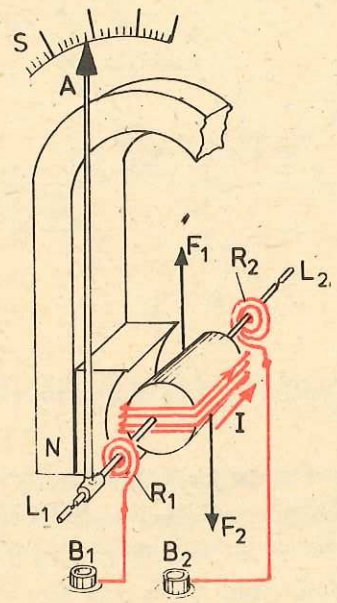


Fig. 6.36. Ampermetru cu magnet permanent fix și bobină mobilă.

resorturi spirale R_1 și R_2 montate cu celălalt capăt pe șasiul aparatului. Pe unul din cele două vîrfuri de ac este montat acul indicator A al aparatului. În poziție de repaus, bobina cadru are planul paralel cu liniile de cîmp magnetic iar acul indicator indică zero pe o scală gradată S din fața sa.

Funcționarea ampermetrului. La trecerea curentului electric prin bobina cadru, acesta interacționează cu cîmpul magnetic al magnetului. Cîmpul magnetic exercită acțiuni asupra celor două laturi ale bobinei cadru, perpendiculare pe liniile de cîmp magnetic, creînd astfel un cuplu de forțe electromagnetice de rotație care rotesc bobina cadru și acul indicator. Resorturile spirale se deformează și se opun rotației cu un cuplu rezistent de forțe mecanice.

Unghiul de rotație al bobinei cadru este proporțional cu forța electromagnetică exercitată de cîmpul magnetic al magnetului asupra celor două laturi ale bobinei cadru, deci cu intensitatea curentului electric din bobina cadru. Pe un cadran, în fața căruia se rotește acul indicator al aparatului, notăm pentru fiecare unghi de deviație a acului, intensitatea curentului electric din bobina cadru, care a produs această deviație. Astfel etalonat, aparatul poate folosi pentru măsurarea intensității curentului electric ce străbate spirele bobinei cadru.

Dacă intercalăm ampermetrul în serie cu un circuit, prin bobina sa trece curentul electric din circuit așa că deviația acului aparatului indică intensitatea curentului electric din circuit. Bobina cadru are un număr redus de spire a căror grosime este potrivită. Ampermetrele uzuale pot fi cu diviziunea zero la stînga scalei și atunci ele măsoară intensitatea curentului electric ce le străbate prin deviația acului indicator la dreapta. Mai pot fi cu diviziunea zero la mijlocul scalei, în care caz măsoară intensitatea curentului electric ce le străbate, fie prin deviația la stînga, fie prin deviația la dreapta a acului indicator. O astfel de scală cu zero la mijloc o întîlnim la galvanometre.

La ampermetrele cu deviația acului indicator numai la dreapta, se marchează bornele cu semnele + și — pentru a ști cum să le conectăm într-un circuit de curent continuu.

6.9.2. **Galvanometrul, microampermetrul și miliampermetrul.** Aceste aparate se folosesc la măsurarea curenților electrici de intensitate foarte mică (microamperi, miliamperi), în circuite cu rezistența electrică foarte mare.

Galvanometrul, microampermetrul și miliampermetrul au construcția la fel ca ampermetrul, cu singura deosebire că bobina cadru are foarte multe spire, de diametru foarte mic. Se conectează în serie cu circuitele de rezistență electrică foarte mare a căror intensitate o măsoară.

6.9.3. **Voltmetrul.** Are aceeași construcție ca miliampermetrul. Dacă montăm o rezistență electrică R_a foarte mare (de zeci de mii sau de sute de mii de ohmi) în serie cu bobina cadru a unui miliampermetru, obținem un voltmetru. Observați că rezistența electrică a voltmetrului măsurată la bornele sale, $R_t = R_v + R_a$, este foarte mare. Dacă conectați voltmetrul la capetele unui rezistor străbătut de un curent electric (fig. 6.37), intensitatea curentului electric prin rezistor rămîne practic aceeași căci prin voltmetru se ramifică un curent de intensitate foarte mică datorită rezistenței sale foarte mari. Acul indicator al voltmetrului indică de fapt intensitatea curentului electric ce străbate bobina cadru a aparatului. Înmulțind această intensitate cu rezistența totală a voltmetrului, obținem tensiunea la bornele voltmetrului ($I_v \cdot R_t = U_v$) care este totuna cu tensiunea la bornele rezistorului la care este conectat ($U_v = U_R$). Scala voltmetrului este etalonată în volți.

6.9.4. **Motorul electric de curent continuu.** În construcția ampermetrului și a celorlalte aparate electrice de măsură au fost introduse două resorturi spirale care să limiteze rotația bobinei cadru. Ce s-ar întîmpla dacă n-ar exista aceste resorturi?

Căutînd să dea răspuns la întrebare, oamenii de știință au constatat că se poate permanentiza mișcarea de rotație a bobinei cadru dacă s-ar face mici modificări în construcția ampermetrului.

Eliminînd resorturile spirale, acul indicator și cadranul ampermetrului și introducînd în locul lor doi semicilindri C_1 și C_2 și două perii conductoare P_1 și P_2 pentru conectarea aparatului la o sursă de tensiune (fig. 6.38), obținem un dispozitiv care produce mișcare de rotație în tot timpul trecerii curentului electric prin bobina cadru. Acest dispozitiv care absoarbe energie electrică și produce energie mecanică de rotație se numește motor electric sau electromotor. La baza funcționării electromotorului stă, deci (ca și la ampermetru),

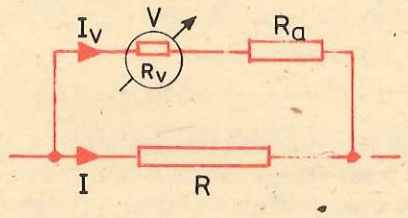


Fig. 6.37. Schema electrică a voltmetrului conectat la bornele unui rezistor.

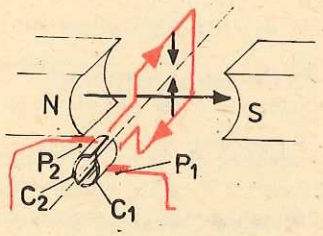


Fig. 6.38. Schema de principiu a electromotorului.

Fig. 6.39. Pentru experimentul 19.

interacțiunea dintre un cîmp magnetic și un curent electric. Ca și la ampermetru, echipamentul fix al electromotorului este constituit din magnetul permanent. El se numește *stator*. Echipamentul mobil al electromotorului este alcătuit dintr-o bobină și cei doi semicilindri (lamele), montate pe un ax rotativ așezat în două lagăre. Echipamentul mobil se numește *rotor*. Pe el se mai montează o roată dințată sau o roată mecanică pentru transmiterea mișcării de rotație în exterior printr-o curea de transmisie. Legătura electromotorului la sursa de tensiune se face prin două perii metalice numite perii colectoare.

E **Experimentul 19.** Cu elementele din trusă: electromagnet cu bobine pe latura din mijloc a miezului de fier *U* (fig. 6.39, *a*), rotorul alcătuit dintr-o bobină realizată pe un cilindru de fier cu ax (fig. 6.39, *b*) și perii colectoare, realizați un electromotor. Introduceți rotorul în suport astfel încît periile să calce pe semiinele. Inseriați bobina electromagnetului cu bobina rotorului și conectați la sursa de 18 V_{cc}. Închideți acest circuit electric și veți observa că rotorul se învîrtește.

Gîndiți-vă ce trebuie făcut pentru ca rotorul să se învîrtească în sens invers și, după ce ați răspuns, efectuați experimentul pentru a verifica dacă răspunsul este corect sau nu.

Problemă rezolvată

Circuitul din figura 6.40 este alcătuit din următoarele elemente: două resorturi elastice de alamă R_1 și R_2, întrerupătorul K conectat între capetele fixe M și N ale resorturilor, plăcuțele subțiri și ușoare de Zn și Cu sudate la capetele libere ale resorturilor și soluția electrolitică de acid sulfuric în care sînt scufundate parțial plăcuțele de Zn și Cu. Capetele M și N ale resorturilor sînt fixate în izolatorul rigid S.

Explicați evenimentele care se produc după închiderea circuitului cu întrerupătorul K.

Rezolvare. Plăcuțele de Cu și Zn cufundate în soluția de acid sulfuric formează o pilă Volta cu t.e.m. de aproximativ 1 V, avînd borna pozitivă la electrodul de Cu. Închizînd

circuitul electric cu ajutorul întrerupătorului K, se va stabili curent electric în circuit. Spirele resorturilor elastice parcurse de curenți electrici paraleli și de același sens se vor atrage, scurtînd astfel lungimea resorturilor. Plăcuțele de Cu și Zn sînt scoase către suprafața electrolitului făcînd să scadă secțiunea electrolitului parcurs de curent electric, deci să crească rezistența internă a pilei Volta. Aceasta va avea ca efect scăderea intensității curentului electric din circuit, scăderea forței de atracție dintre spirele resorturilor, alungirea resorturilor și în final scufundarea plăcuțelor de Cu și Zn în soluție. Din nou va crește intensitatea curentului electric în circuit și resorturile se vor scurta scoțînd plăcuțele de Cu și Zn spre suprafața lichidului. Procesele se repetă, așa că plăcuțele de Cu și Zn vor oscila; datorită frecării cu electrolitul, oscilațiile plăcuțelor se vor amortiza iar datorită acoperirii plăcuței de Cu cu bule de hidrogen, curentul din circuit va scădea pînă la zero, moment în care resorturile vor rămîne întinse numai datorită greutății proprii a plăcuțelor de Cu și Zn. ca înainte de închiderea circuitului.

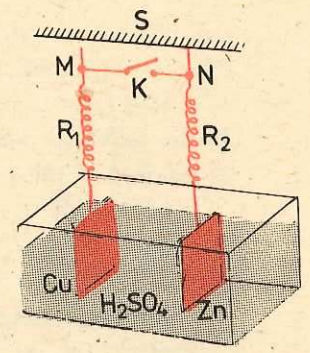


Fig. 6.40. Pentru problema rezolvată.

Rezumat

Magnetizarea este fenomenul prin care un corp capătă proprietăți magnetice.

Corpurile care au proprietăți magnetice se numesc magneți.

Un magnet are doi poli magnetici diferiți ca manifestare fizică.

Doi magneți se atrag prin polii magnetici de nume diferit și se resping prin polii magnetici de același nume.

Orice circuit parcurs de curent electric produce cîmp magnetic în jurul său: se comportă ca un magnet.

Cîmpul magnetic este un sistem fizic care se manifestă prin acțiuni magnetice asupra magneților și curenților electrici.

Un cîmp magnetic poate fi descris printr-un model la baza căruia stau liniile de cîmp magnetic. Liniile cîmpului magnetic sînt tangente în fiecare punct la direcția acului magnetic.

Sensul de la $S-N$ al acului magnetic echilibrat într-un punct al unei linii de cîmp magnetic este sensul convențional al liniei de cîmp magnetic.

Sensul liniilor cîmpului magnetic produs de un curent electric depinde de sensul curentului electric producător de cîmp.

Din punct de vedere magnetic, o bobină parcursă de un curent electric se comportă ca un magnet liniar.

Pentru sistemele cu poli magnetici definiți (magneți, spire, bobine), liniile de cîmp magnetic ies din polul N al sistemului în afara acestuia și intră în polul S continuîndu-se în sistem de la polul S către polul N.

Liniile de cîmp magnetic sînt linii închise.

Ansamblul alcătuit dintr-o bobină și un miez de fier ce o traversează prin interior se numește electromagnet.

Un cîmp magnetic exercită acțiune asupra circuitelor parcurse de curent electric, aflate în acel cîmp. Forța exercitată de un cîmp magnetic asupra unui conductor parcurs de curent electric, aflat în acel cîmp, o numim forță electromagnetică.

Inducția magnetică a unui cîmp magnetic este mărimea ce caracterizează cîmpul magnetic din punct de vedere al intensității interacției cîmpului cu un conductor parcurs de un curent electric, plasat în acel cîmp.

Curenții electrici de același sens se atrag iar curenții electrici de sens opus se resping.

Interacțiunile magnetice se manifestă: între magneți, între magneți și curenți, între curenți,

Întrebări. Probleme

1. Stabiliți polii magnetici ai barei de oțel AB în cele două cazuri prezentate în figura 6.41.
2. Ce procese au loc în filamentul unui bec electric conectat în serie cu o sonerie, atunci cînd soneria sună?
3. Explicați care va fi poziția de echilibru a spirei, parcursă de curent electric, plasată între polii unui magnet U ca în figura 6.42.

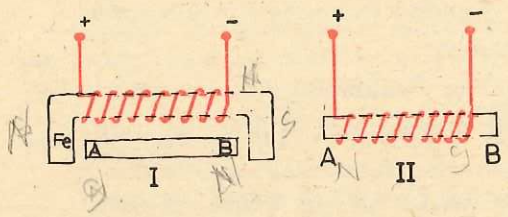


Fig. 6.41. Pentru problema 1.

4. Enumerați și explicați efectele trecerii unui curent continuu prin spirele unui resort elastic (fig. 6.43).

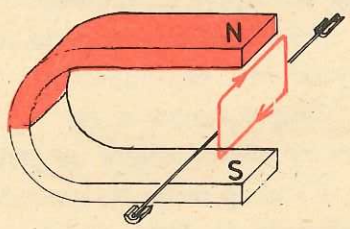


Fig. 6.42. Pentru problema 3.

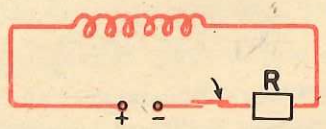


Fig. 6.43. Pentru problema 4.

5. Explicați funcționarea becului conectat la o baterie electrică în serie cu un resort elastic suspendat și cu un electrolit în care se scufundă foarte puțin extremitatea inferioară a resortului (fig. 6.44).

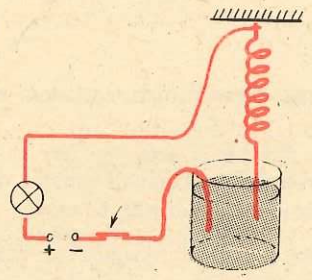


Fig. 6.44. Pentru problema 5.

6. Curentul care își schimbă periodic sensul într-un circuit se numește curent alternativ. Explicați care este efectul trecerii curentului alternativ printr-un conductor rectiliniu, aflat între polii unui magnet U, perpendicular pe inducția magnetică a cîmpului (fig. 6.45).

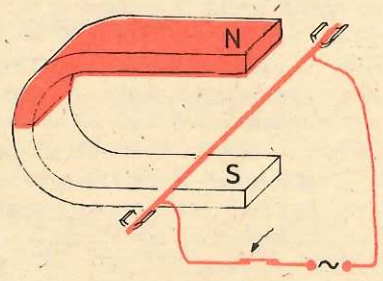


Fig. 6.45. Pentru problema 6.

7. Circuitul din figura 6.46, alcătuit din bobină și lichidul din baia electrolitică, se conectează la o sursă de tensiune continuă. Greutatea miezului de fier, aflat la partea superioară a bobinei, este echilibrată de greutatea celor două plăci de cupru scufundate cîțiva centimetri în lichid. Explicați ce se întîmplă atunci cînd închidem circuitul electric.

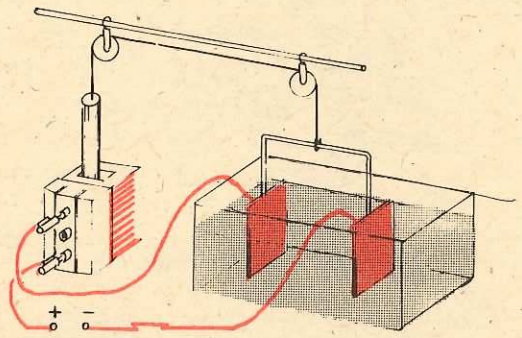


Fig. 6.46. Pentru problema 7.

8. Conductorul C din figura 6.47 este așezat orizontal pe conductoarele a și b ce formează un plan înclinat față de orizontală. Demonstrați că dacă folosim o sursă electrică de tensiune continuă și un reostat, conductorul C poate rămîne în echilibru pe planul înclinat al conductoarelor a și b. Se neglijează frecările.

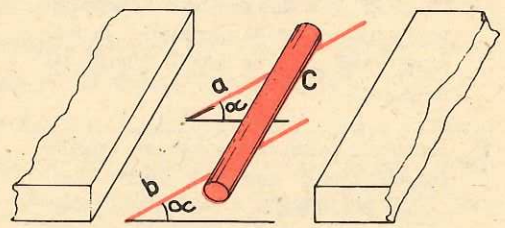


Fig. 6.47. Pentru problema 8.

9. Ce evenimente se produc în starea conductorului C din figura 6.48, dacă închidem circuitul electric al becului prin conductor? Inducția magnetică a cîmpului este foarte mare.

10. Cum trebuie acționat asupra conductorului rectiliniu orizontal, din figura 6.49, străbătut de curent electric, pentru a nu se mișca sub acțiunea

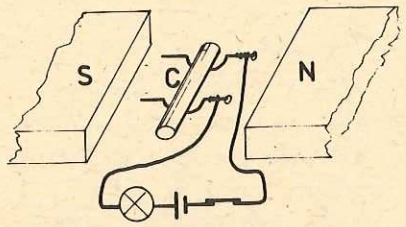


Fig. 6.48. Pentru problema 9.

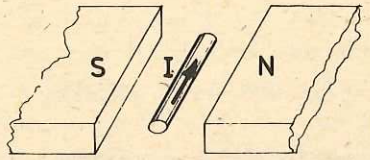


Fig. 6.49. Pentru problema 10.

forței electromagnetice a cîmpului magnetic orizontal ce-l străbate? (Indicație. Se compară forța electromagnetică cu greutatea conductorului.)

11. Cunoscînd interacția dintre doi curenți electrici paraleli, avem voie să instalăm firele unei linii de curent continuu, respectiv de curent alternativ, la distanțe mici unul de altul? Justificați răspunsul.

12. Explicați ce efect are asupra rotației rotorului unui motor de curent continuu schimbarea simultană a polarității electrice la bornele bobinei rotorului și a sensului cîmpului magnetic al statorului.

13. Explicați cum trebuie înfășurată sîrma pe carcasa unei bobine pentru ca bobina să nu producă cîmp magnetic atunci cînd este străbătută de un curent electric.

14. Capetele unei bobine sînt conectate la două plăcuțe, una de cupru și alta de zinc, înfipte într-un dop de plută care plutește la suprafața unei soluții de acid sulfuric (H_2SO_4), cu plăcuțele

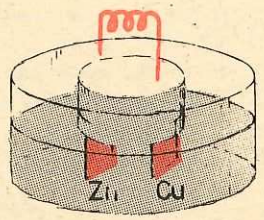


Fig. 6.50. Pentru problema 14.

în soluție și axa bobinei în poziție orizontală. Explicați poziția de echilibru a bobinei (fig. 6.50).

15. Sînteți într-o încăpere la care unul dintre pereți conține într-o zonă a sa o conductă verticală de oțel, zidită. Aveți la îndemînă o baterie de buzunar, o bobină și un fir de ață. Cum trebuie să procedați pentru a descoperi care este peretele cu conducta de oțel și în ce zonă se află acea placă?

16. Aveți la dispoziție: un ac magnetic centrat pe un ax pe care este montat și un ac indicator; o bobină de diametru mai mare decît lungimea acului magnetic. Acul indicator are o bucșă de alamă fixată la capătul opus indicatorului, care menține acul în poziție verticală atunci cînd axul acului este orizontal (fig. 6.51). Asamblați aceste piese astfel încît să obțineți un aparat care să poată indica prezența curentului electric într-un circuit. Explicați funcționarea aparatului. Ce element trebuie să mai adăugați și ce operație trebuie executată pentru ca aparatul să poată fi folosit ca ampermetru?

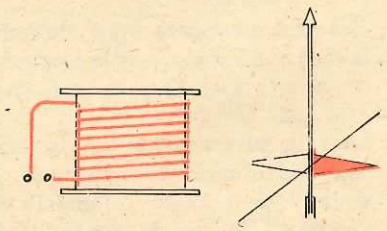


Fig. 6.51. Pentru problema 16.

7.

Inducția electromagnetică

7.1. Fluxul magnetic

Paragraful 7 al capitolului precedent a scos în evidență o mărime caracteristică cîmpului magnetic într-un punct al său — inducția magnetică. Cunoscînd vectorul inducție magnetică în fiecare punct al cîmpului magnetic, putem descrie cîmpul magnetic în toate punctele sale.

În majoritatea aplicațiilor practice privind acțiunea cîmpului magnetic asupra diverselor sisteme, se folosesc ca sisteme de interacțiune cu cîmpul magnetic circuitele: spira, multiplicatorul, solenoidul, bobinele de diverse secțiuni (în general circulare și dreptunghiulare).

De mare importanță pentru circuitele aflate în interacțiune cu cîmpul magnetic s-a dovedit a fi cunoașterea cîmpului magnetic ce străbate suprafețele delimitate de conturul acestor circuite. Așadar, este necesar să cunoaștem mărimea care descrie cîmpul magnetic ce străbate o suprafață.

Spunem că un cîmp magnetic străbate o suprafață, dacă acea suprafață este intersectată de liniile de cîmp magnetic. Acest lucru este posibil dacă suprafața nu este paralelă cu liniile de cîmp magnetic. În figura 7.1 sînt prezentate suprafețe plane într-un cîmp magnetic uniform, străbătute de liniile de cîmp magnetic ce intersectează aceste suprafețe, iar în figura 7.2, suprafețe plane într-un cîmp magnetic uniform, care nu sînt străbătute de cîmpul magnetic (liniile de cîmp magnetic nu intersectează aceste suprafețe).

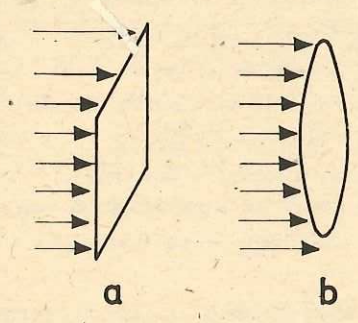


Fig. 7.1. Suprafețe plane intersectate de linii de cîmp magnetic.

În urma multor căutări, fizicienii au concluzionat că se poate descrie cîmpul magnetic ce străbate o suprafață, cu ajutorul unei mărimi care leagă inducția magnetică (mărimea ce descrie cîmpul magnetic într-un

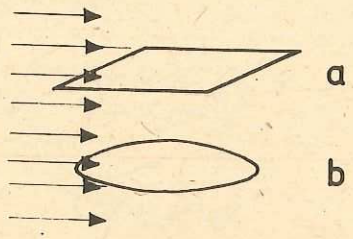


Fig. 7.2. Suprafețe plane neintersectate de liniile de cîmp magnetic.

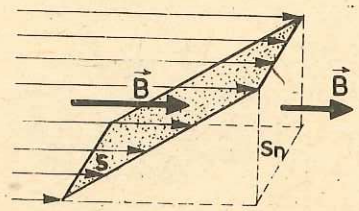


Fig. 7.3. Secțiunea normală a unei suprafețe S dintr-un cîmp magnetic.

punct) de suprafața străbătută de cîmpul magnetic. Ei au demonstrat că această mărime este dată de produsul $B \cdot S_n$ dintre inducția cîmpului magnetic ce străbate suprafața S și aria secțiunii normale a acelei suprafețe.

Se numește secțiune normală a unei suprafețe S dintr-un cîmp magnetic (uniform) proiecția suprafeței S pe un plan perpendicular pe vectorul inducție magnetică (fig. 7.3).

Mărimea care descrie cîmpul magnetic ce străbate o suprafață S, poziționată într-un cîmp magnetic uniform de inducție B, egală numeric cu produsul dintre inducția cîmpului magnetic și aria secțiunii normale a suprafeței străbătută de cîmp, a fost numită *flux magnetic* prin suprafața S. Fluxul magnetic se notează simbolic cu litera Φ.

$$\Phi = B \cdot S_n.$$

7.2. Inducția electromagnetică într-un circuit

E **Experimentul 1.** Realizați montajul din figura 7.4, *a* și conectați bobina electromagnetului U la 9 V_{cc}. Conectați apoi ampermetrul (scala 0—10 mA) la bornele bobinei rotative L. Prin închiderea circuitului bobinei electromagnetului între laturile acesteia, unde se află bobina rotativă, se produce un cîmp magnetic (fig. 7.4, *b*).

I. Fixați bobina rotativă L cu planul spirelor perpendicular pe vectorul inducție magnetică B (fig. 7.5, *a*). *a)* Închideți circuitul bobinei electromagnetului urmărind indicațiile ampermetrului.

Veți observa că acul ampermetrului deviază într-un sens și revine la zero (după cîteva oscilații), indicînd că în circuitul bobinei L a apărut un curent electric.

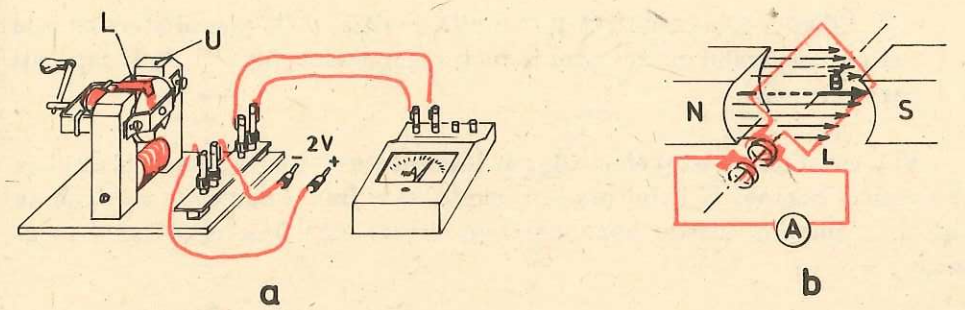


Fig. 7.4. *a)* Montaj pentru experimentul 1; *b)* schema montajului.

La închiderea circuitului bobinei electromagnetului, crește inducția cîmpului magnetic dintre laturile acestuia, unde se află bobina L, deci crește fluxul magnetic ce străbate suprafața circuitului bobinei L ($\Phi = B \cdot S_n$). Așadar, apariția curentului electric în circuitul bobinei L este în legătură cu creșterea fluxului magnetic ce străbate suprafața circuitului acestei bobine ($\Delta\Phi > 0$).

E *b)* Deschideți circuitul bobinei electromagnetului.

Veți observa că acul galvanometrului deviază în sens invers față de cazul precedent, indicînd că și în acest caz apare curent electric în circuitul bobinei L.

Știm că la deschiderea circuitului bobinei electromagnetului scade inducția cîmpului magnetic dintre laturile acestuia, deci scade fluxul magnetic ce străbate suprafața circuitului bobinei L. Așadar, apariția curentului electric în circuitul bobinei L este în legătură și cu descreșterea fluxului magnetic ce străbate suprafața circuitului acestei bobine ($\Delta\Phi < 0$).

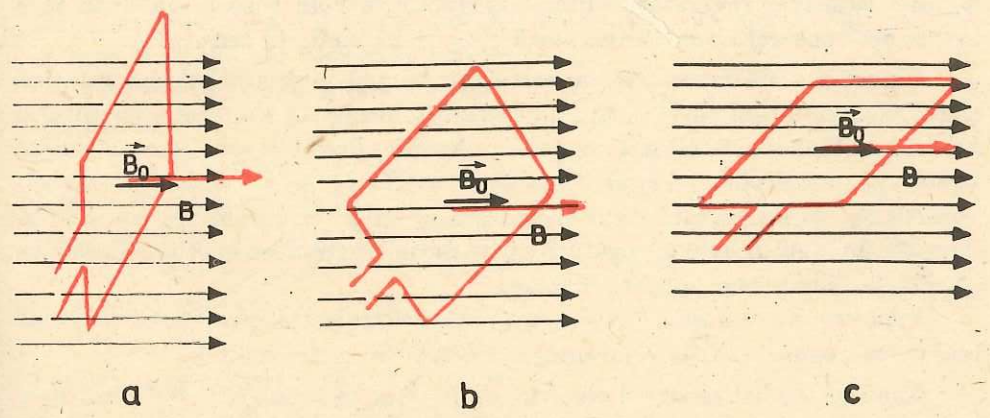


Fig. 7.5. Bobina cadru în cîmpul magnetic:

a) și *b)* planul spirelor neparalel cu vectorul $\vec{B}$; *c)* planul spirelor paralel cu vectorul $\vec{B}$.

E | II. Fixați bobina rotativă într-o altă poziție, încît planul spirelor sale să nu fie paralel cu vectorul inducție magnetică (fig. 7.5, *b*) și repetați experimentul.

Veți constata aceleași efecte dar de intensitate mai mică: curentul electric în circuitul bobinei L, avînd un sens cînd crește fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor acestei bobine și sens invers cînd descrește fluxul magnetic.

E | III. Fixați acum bobina rotativă cu planul spirelor paralel cu vectorul inducție magnetică (fig. 7.5, *c*) și repetați experimentul.

Veți constata că de această dată nu se mai produce curent electric în circuitul bobinei L, deoarece $S_n = 0$, deci $\Phi = B \cdot S_n = B \cdot 0 = 0$. În aceste condiții $\Delta\Phi = 0$.

Se produce curent electric în circuitul închis al unei bobine aflată într-un cîmp magnetic, dacă fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor acesteia este variabil (crescător sau descrescător).

E | **Experimentul 2.** Folosiți același montaj prezentat în figura 7.4, *a* din experimentul 1. Conectați ampermetrul (scala 0—10 mA) la bobina rotativă L. Conectați apoi bobina electromagnetului U la 9 V_{cc} și închideți circuitul acesteia pentru a produce între polii electromagnetului un cîmp magnetic constant ($\vec{B} = ct$). Învîrtiți bobina rotativă urmărind indicațiile ampermetrului.

Veți constata că în timpul învîrtirii bobinei rotative se produce curent electric în circuitul acesteia; curentul are un sens atîta timp cît o latură a bobinei rotative traversează cîmpul magnetic într-un sens și va avea sens invers cînd aceeași latură traversează cîmpul magnetic în sens invers.

Figurînd două momente succesive din timpul învîrtirii bobinei rotative (fig. 7.6), constatăm că variază aria secțiunii normale a suprafeței circuitului bobinei străbătută de cîmpul magnetic. Așadar fluxul magnetic ce străbate suprafața circuitului bobinei rotative $\Phi = B \cdot S_n$ este variabil, întrucît variază S_n. Și de această dată constatăm că apariția curentului electric în circuitul bobinei L este în legătură cu variația fluxului magnetic ce străbate suprafața circuitului acestei bobine.

Prin urmare, variația fluxului magnetic ce străbate suprafața unui circuit închis este cauza apariției curentului electric în acel circuit.

Cînd ați studiat circuitul electric, ați învățat că tensiunea electromotoare este cea care produce curent electric într-un circuit închis. Așadar, variația fluxului magnetic ce străbate suprafața unui circuit determină apariția unei tensiuni electromotoare în acel circuit.

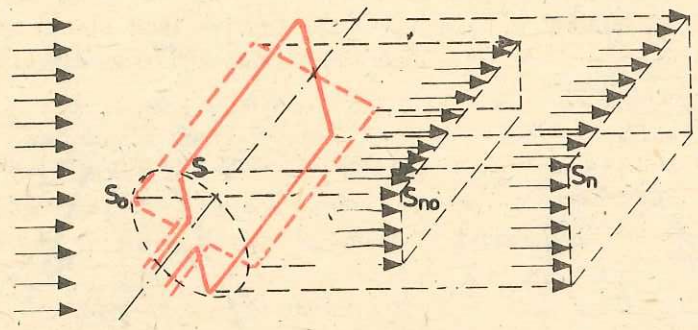


Fig. 7.6. Secțiunea normală a spirei în două momente succesive din timpul învîrtirii.

Fenomenul de producere a unei tensiuni electromotoare într-un circuit, străbătut de un flux magnetic variabil, poartă numele de inducție electromagnetică în acel circuit.

Tensiunea electromotoare produsă într-un circuit, prin inducție electromagnetică, se numește tensiune electromotoare indusă (t.e.m. indusă) și se notează cu e. Curentul electric produs de t.e.m. indusă într-un circuit închis se numește curent de inducție (curent indus) și se notează cu i.

7.3. Experimentele lui Faraday

Pornind de la experimentul lui Oersted, prin care s-a dovedit că un curent electric produce în jurul său un cîmp magnetic (1820), oamenii de știință au căutat și fenomenul invers: obținerea unui curent electric într-un circuit închis cu ajutorul cîmpului magnetic. După mai bine de 10 ani de cercetări experimentale, savantul englez Michael Faraday (1791—1867) obține curent electric cu ajutorul cîmpului magnetic, descoperind astfel inducția electromagnetică.

Avînd în vedere că azi experimentele lui Faraday par simple atît ca realizare experimentală cît și ca interpretare, redăm mai jos unul din experimentele sale reprezentat în figura 7.7:

1) Se apropie un magnet de o bobină cu circuitul închis la un ampermetru (scala 0—10 mA) și se observă că acul ampermetrului deviază într-un sens.

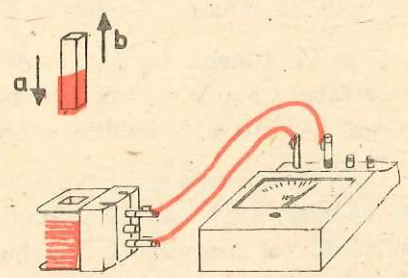


Fig. 7.7. Montaj pentru experimentul lui Faraday.

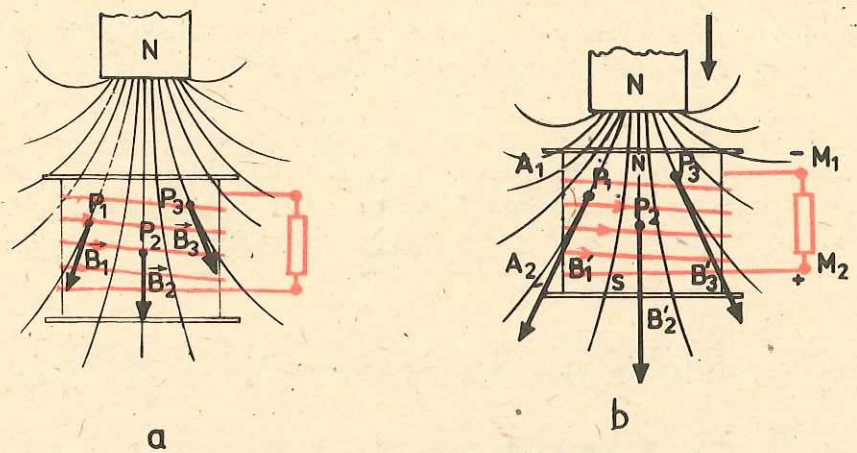


Fig. 7.8. Imagini ale variației inducției magnetice în bobină la apropierea magnetului de bobină.

2) După introducerea magnetului în bobină, îl ținem nemișcat în bobină un interval de timp și se observă că acul ampermetrului revine la zero.

3) Se scoate magnetul din bobină și se observă că acul ampermetrului deviază în sens invers față de primul caz.

Folosind cunoștințele pe care le avem în legătură cu fenomenul de inducție electromagnetică, dăm următoarele explicații celor observate în cele 3 etape ale experimentului:

1) La apropierea magnetului de bobină (fig. 7.8. *a*, *b*), se observă că, în aceleași puncte din interiorul bobinei, inducția cîmpului magnetic crește în modul și își modifică orientarea, făcînd să crească fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei ($\Phi = B \cdot S_n$; B variază, deci variază Φ).

Creșterea fluxului magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei determină apariția unei t.e.m. induse în bobină și deci apariția curentului de inducție în circuitul închis al bobinei.

2) Cînd magnetul rămîne nemișcat în bobină nu variază fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei deci nu se produce t.e.m. indusă în bobină; în circuitul bobinei nu apare curent de inducție.

3) Cînd scoatem magnetul din bobină (fig. 7.8, *b*, *a*), îndepărtîndu-l de aceasta, scade inducția cîmpului magnetic ce străbate bobina, făcînd să scadă fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei. Descreșterea fluxului magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei determină apariția unei t.e.m. induse în bobină, deci apariția unui curent de inducție în circuitul închis al bobinei, de sens invers primului caz.

Procedînd ca Faraday, realizați experimentul prezentat mai sus.

Asemănător explicației dată experimentului lui Faraday, prezentat anterior, rezolvați următoarele patru teme experimentale (primele trei aparțin grupului de experimente ale lui Faraday):

1) O bobină cu circuit închis la un ampermetru (scala 0—10 mA) se apropie de un magnet fix (fig. 7.9). După ce se ține nemișcată cîteva secunde, cînd magnetul este puțin introdus în ea, se depărtează de magnet. Ce va indica ampermetrul în cele trei etape ale acestui experiment? Dați explicația fenomenelor care s-au produs în timpul apropierii, staționării și depărtării bobinei față de magnet.

Verificați experimental explicațiile date.

2) Față de bobina L_1 cu circuit închis la un ampermetru (scala 0—10 mA) se apropie și apoi se depărtează o bobină cu miez de fier L_2, alimentată la o sursă de tensiune continuă (fig. 7.10).

Ce se va observa la ampermetru în timpul acestor manevre? Dați explicație fenomenelor care s-au produs la apropierea și depărtarea bobinei L_2 de bobina fixă L_1. Verificați experimental răspunsurile date, folosind bobinele de 250 de spire din trusă, miezul de fier I, ampermetrul și o sursă de 12 V_{cc} pentru alimentarea bobinei L_2.

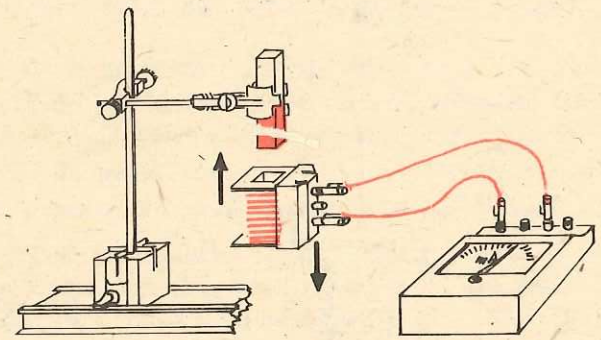


Fig. 7.9. Apariția unui curent în circuitul bobinei, cînd bobina se mișcă în raport cu magnetul.

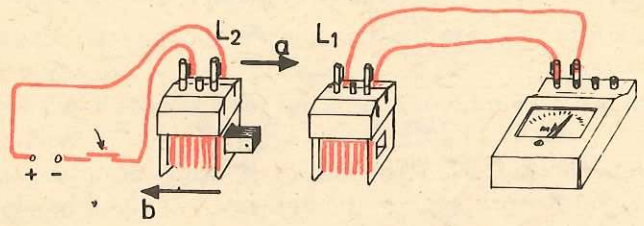


Fig. 7.10. Apariția curentului într-o bobină la apropierea și depărtarea unui electromagnet de ea.

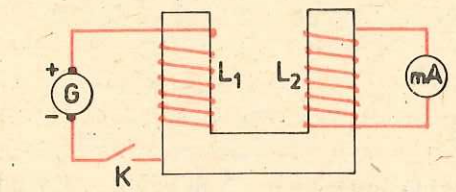
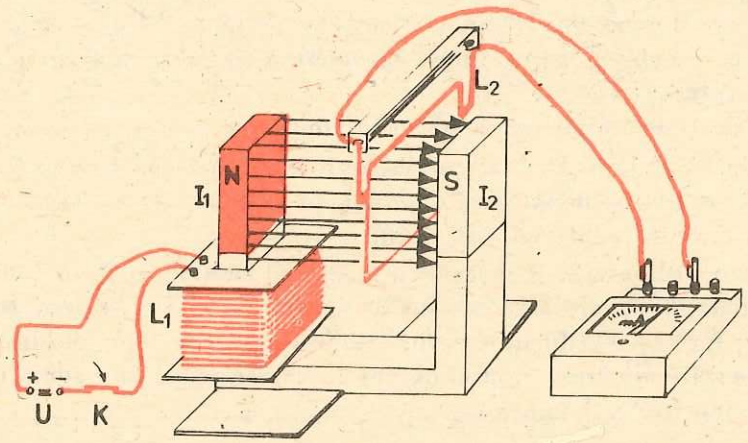
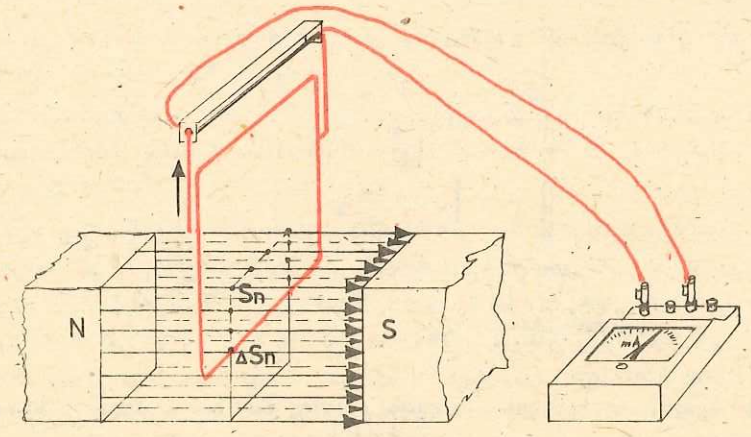


Fig. 7.11. Producerea curentului electric în bobina L_2 la închiderea și deschiderea circuitului bobinei L_1.

a



b



c

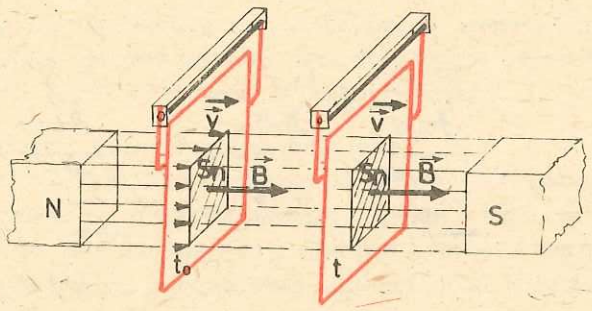


Fig. 7.12. Pentru problema 4.

3) Pe laturile miezului de fier U se fixează două bobine L_1 și L_2 (fig. 7.11). Bobina L_1 se conectează la o sursă de 6 V_{cc}, iar bobina L_2 se conectează la un ampermetru (scala 0—10 mA). Închidem și apoi deschidem circuitul bobinei L_1. Ce se va observa la ampermetru în timpul acestor manevre? Explicați cauzele evenimentelor observate la ampermetru.

Verificați experimental evenimentele anticipate, folosind două bobine de 250 spire din trusă.

4) Într-un experiment, se realizează montajul prezentat în figura 7.12, *a*, folosindu-se miezul de fier U, două miezuri de fier I_1 și I_2 care prelungesc laturile miezului U, bobina L_1 de 250 spire, bobina cadru L_2 cu 40 de spire și un ampermetru (scala 0—10 mA). Se conectează bobina L_1 la 12 V_{cc} și se închide circuitul acesteia. Bobina cadru L_2 se conectează la ampermetru. Ce va indica ampermetrul atunci cînd bobina cadru se deplasează între laturile electromagnetului U pe o direcție neparalelă cu liniile de cîmp magnetic (eventual, perpendiculară pe liniile de cîmp) și ce va indica atunci cînd bobina cadru se deplasează pe o direcție paralelă cu liniile de cîmp magnetic? Justificați răspunsurile date. Verificați experimental. (*Indicație.* Se vor analiza figurile 7.12, *b* și 7.12, *c*.)

7.4. Sensul curentului de inducție. Regula lui Lenz

În experimentele precedente ați observat că în circuitul închis al unei bobine străbătută de un flux magnetic variabil apare un curent electric de inducție. În cele ce urmează vom stabili sensul curentului indus într-un circuit închis, în funcție de modul cum variază fluxul magnetic ce străbate acel circuit. Pentru aceasta vom realiza următorul experiment.

E **Experimentul 3.** Cu bobina L de 500 spire și miezul de fier, realizați un electromagnet pe care îl așezați pe masă cu axa orizontală. Conectați bobina L la 18 V_{cc} în serie cu un întrerupător. Suspendați inelul pendular P de aluminiu ca în figura 7.13, *a*. Închideți circuitul bobinei L și veți observa că inelul se depărtează de bobină și apoi revine la poziția inițială după cîteva oscilații (fig. 7.13, *b*).

Deschideți circuitul bobinei L și veți observa că inelul se apropie de bobină și apoi revine la poziția inițială după cîteva oscilații (fig. 7.13, *c*).

La închiderea circuitului bobinei L, intensitatea curentului electric crește de la zero la o valoare maximă I. Totodată crește de la zero la maximum inducția magnetică, respectiv fluxul magnetic al cîmpului creat de acest curent în miezul de fier.

Fluxul magnetic crescător din miezul de fier străbate și suprafața inelului, deci va produce în inel un curent indus i. Așadar, cîmpul magnetic crescător ce străbate inelul este un cîmp magnetic inductor. La rîndul său și curentul indus i produce un cîmp magnetic propriu (cîmp indus), făcînd ca inelul să se comporte ca un magnet care interacționează cu electromagnetul.

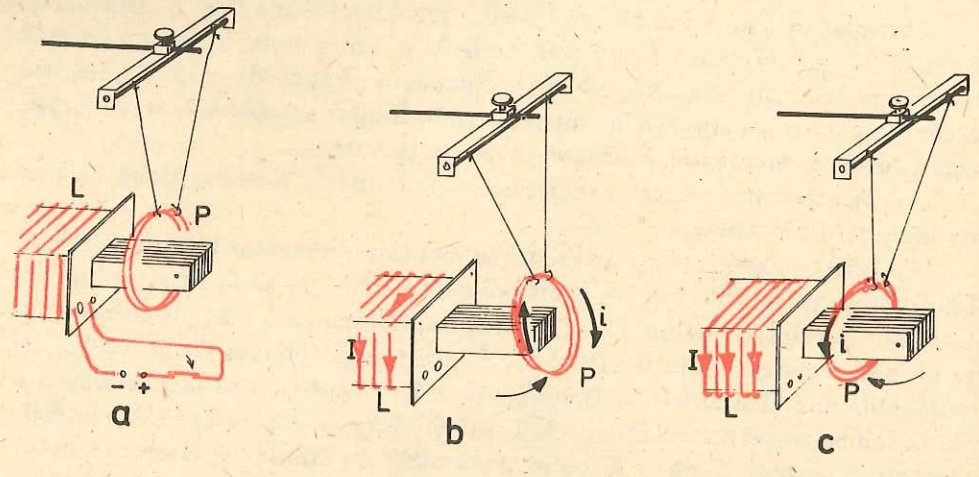


Fig. 7.13. *a)* Montaj pentru studiul sensului curentului de inducție; *b)* la închiderea circuitului bobinei L, inelul este respins; *c)* la deschiderea circuitului bobinei L, inelul este atras.

La închiderea circuitului, inelul se îndepărtează de electromagnet deci inelul și electromagnetul au față în față polii magnetici de același nume. Aceasta înseamnă că inducția cîmpului magnetic indus este de sens opus inducției cîmpului magnetic inductor, opunîndu-se creșterii acesteia.

Curentul electric indus produce un cîmp magnetic propriu care se opune creșterii fluxului magnetic inductor care l-a creat.

La deschiderea circuitului bobinei L, intensitatea curentului din bobină scade pînă la zero. Totodată scade și fluxul magnetic inductor, care străbate suprafața inelului producînd astfel în inel un curent de inducție care la rîndul său produce un cîmp magnetic propriu. Întrucît inelul se apropie de electromagnet, rezultă că inelul și electromagnetul au față în față polii magnetici de nume diferite.

Deci curentul indus produce un cîmp magnetic propriu cu care se opune descreșterii fluxului magnetic inductor care l-a generat.

Acum putem formula regula referitoare la sensul curentului indus.

Curentul electric indus într-un circuit închis străbătut de un flux magnetic variabil are un astfel de sens încît prin cîmpul magnetic propriu se opune variației fluxului magnetic inductor (regula lui Lenz).

Știți că variația fluxului magnetic ce străbate suprafața unui circuit închis este cauza care produce curentul de inducție în circuit. Cîmpul magnetic propriu al curentului de inducție este efectul variației fluxului magnetic inductor. Așadar, efectul se opune cauzei care l-a produs.

Problemă rezolvată

Un magnet bară se apropie de o bobină așa cum indică desenul din figura 7.14. Determinați sensul curentului indus în bobină în timpul deplasării magnetului. Precizați polaritatea electrică și polaritatea magnetică a bobinei în timpul mișcării magnetului.

Rezolvare. a) Figurînd două momente succesive din timpul apropierii magnetului de bobină (vezi fig. 7.8, *a* și *b*), observăm că inducția cîmpului magnetic ce străbate suprafața bobinei crește; așadar crește fluxul magnetic ce străbate circuitul bobinei. În circuitul bobinei apare un curent indus care, conform regulii lui Lenz, creează un cîmp magnetic propriu care se opune creșterii fluxului magnetic inductor. Deci cîmpul magnetic indus are vectorul inducție magnetică de sens invers inducției magnetice a cîmpului magnetic inductor (de la bobină către magnet). Cunoscînd sensul inducției magnetice a cîmpului magnetic indus, cu ajutorul regulii burghiului drept, stabilim sensul curentului indus în spirele bobinei deci polaritatea electrică a bobinei: polul electric pozitiv al bobinei este capătul firului bobinei legat în punctul M_2. Polul N magnetic al bobinei este capătul bobinei indicat de punctul A_1.

b) Conform principiului, efectul se opune cauzei care l-a produs, avem: cauza variației fluxului magnetic, ce determină apariția curentului de inducție în bobină, este apropierea magnetului bară de bobină cu polul N (de exemplu) către bobină. Efectul trebuie să fie apariția polului N la capătul A_1, astfel încît bobina să se opună apropierii magnetului de ea.

Cunoscînd polul N al bobinei, cu regula burghiului drept, aflăm sensul curentului electric indus în spirele bobinei deci polaritatea electrică a acesteia.

Probleme

1. Determinați sensul curentului de inducție în bobina din figura 7.14 în cazurile:
a) magnetul se apropie de bobină cu polul S către bobină;
b) magnetul se depărtează de bobină cu polul S către bobină;
c) magnetul se depărtează de bobină cu polul N către bobină.

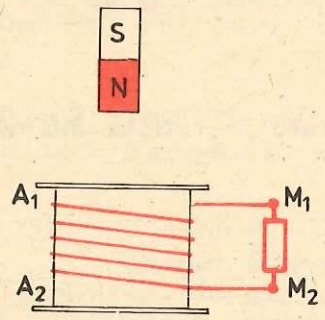


Fig. 7.14. Pentru problema rezolvată și problema 1.

În fiecare caz în parte, stabiliți polaritatea magnetică precum și polaritatea electrică a bobinei.

Dacă bobina nu ar avea circuitul închis printr-un consumator R, se mai produce curent de inducție în ea? În acest caz, se mai polarizează electric bobina?

Dar magnetic se polarizează? Justificați răspunsurile.

2. Bobina electromagnetului din figura 7.15, *a* și *b* se conectează la o sursă de 12 V_{cc}. Explicați ce se va întîmpla cu inelul P, dacă închidem și deschidem circuitul bobinei. Dar dacă conectăm bobina la o sursă de tensiune alternativă, ce se va întîmpla cu inelul după închiderea circuitului acesteia?

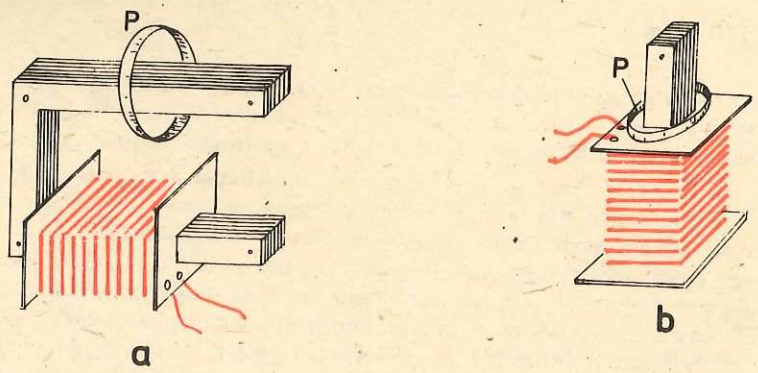


Fig. 7.15. Pentru problema 2.

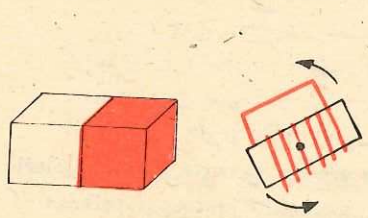


Fig. 7.16. Pentru problema 3.

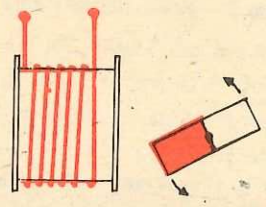


Fig. 7.17. Pentru problema 4.

3. O bobină cu circuit închis se rotește în fața polului unui magnet (fig. 7.16). Determinați polaritatea magnetică a bobinei în timpul rotirii.

4. Determinați polaritatea electrică a bobinei din figura 7.17, în timpul rotirii magnetului bară din fața acesteia.

7.5. Curentul indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic

Știți că în circuitul închis al unei bobine se induce un curent electric, dacă bobina este străbătută de un flux magnetic variabil.

În cele ce urmează, vom analiza experimental caracteristicile de bază ale curentului electric indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic. În loc de o spiră vom folosi, însă, o bobină cadru alcătuită din mai multe spire, pentru a obține un curent indus mai mare.

E **Experimentul 4.** Realizați montajul prezentat în figura 7.4, *a*, pe care l-ați mai folosit la experimentul 1. Conectați bobina electromagnetului la 4 V_{cc} pentru a produce un cîmp magnetic constant între laturile electromagnetului. Conectați ampermetrul (scala 0—10 mA) la bornele bobinei rotative (bobina rotativă are capetele sudate la două inele metalice fixate pe axul bobinei; prin intermediul a două perii metalice P_1 și P_2 care calcă pe inele, bobina rotativă este conectată la bornele unde se conectează ampermetrul, ca în figura 7.18).

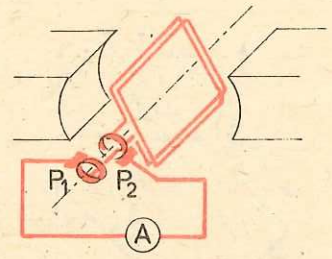


Fig. 7.18. Conectarea bobinei rotative la ampermetru.

a) Așezați bobina rotativă cu planul spirelor perpendicular pe liniile cîmpului magnetic dintre ramurile electromagnetului și rotiți-o uniform cu viteză mică, urmărind indicațiile ampermetrului.

Veți observa că acul ampermetrului oscilează de o parte și de cealaltă parte a diviziunii zero în timpul fiecărei rotații complete a bobinei cadru. Ampermetrul indică prezența în circuitul bobinei rotative a unui curent electric indus care își schimbă periodic sensul — curent alternativ.

Deci *în circuitul închis al unei spire care se rotește într-un cîmp magnetic se produce un curent de inducție, alternativ ca sens.*

E *b)* Repetați experimentul rotind bobina cadru cu viteză puțin mai mare.

Veți observa deviații mai mari ale acului ampermetrului, ceea ce înseamnă că în circuitul bobinei cadru s-a indus un curent alternativ de intensitate mai mare.

Prin urmare, *intensitatea curentului alternativ indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic este mare atunci cînd viteza de rotație a spirei este mare.*

E *c)* Rotiți uniform, cu viteză mică, bobina cadru și schimbați în timpul rotirii tensiunea de alimentare a bobinei electromagnetului de la 4 V la 8 V pentru a dubla inducția cîmpului magnetic în care se rotește bobina cadru.

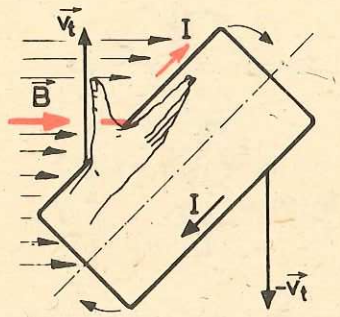


Fig. 7.19. Regula mîinii drepte pentru stabilirea sensului curentului indus în ramurile spirei care traversează cîmpul magnetic.

În acest caz, ampermetrul indică un curent indus mai intens.

Intensitatea curentului alternativ indus într-o spiră, care se rotește într-un cîmp magnetic, este mai mare atunci cînd inducția magnetică a cîmpului este mai mare.

Folosind bobine care au același număr de spire dar care au mai mare aria suprafeței delimitată de o spiră, se demonstrează că: *intensitatea curentului alternativ, indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic, este mai mare atunci cînd aria spirei este mai mare.*

Practic, sensul curentului indus într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic se determină cu așa-numita *regulă a mîinii drepte* aplicată pentru fiecare conductor (ramură) al spirei: se așază palma mîinii drepte cu cele patru degete întinse de-a lungul conductorului (ramurii), orientată astfel încît liniile de cîmp să intre în palmă perpendicular pe aceasta, iar degetul mare desfăcut lateral să indice sensul în care conductorul traversează liniile de cîmp; sensul indicat de cele patru degete ale mîinii drepte astfel orientată este sensul curentului indus în acel conductor (fig. 7.19).

Din lecțiile anterioare știți că curentul electric indus într-un circuit parcurs de un flux magnetic variabil este produs de t.e.m. indusă în acel circuit. Prin urmare, spira care se rotește într-un cîmp magnetic este o sursă de t.e.m. indusă, deci un generator electric numit generator de inducție.

7.6. Generatorul electric de curent alternativ (alternatorul)

Generatorul electric de curent alternativ este mașina electrică ce produce curent electric alternativ într-un circuit închis în care este intercalată.

Funcționarea generatorului de curent alternativ se bazează pe fenomenul de inducție electromagnetică într-o spiră străbătută de un flux magnetic variabil.

Dacă t.e.m. indusă într-o spiră care se rotește într-un cîmp magnetic uniform este e, atunci t.e.m. indusă într-o bobină cu N spire care s-ar roti

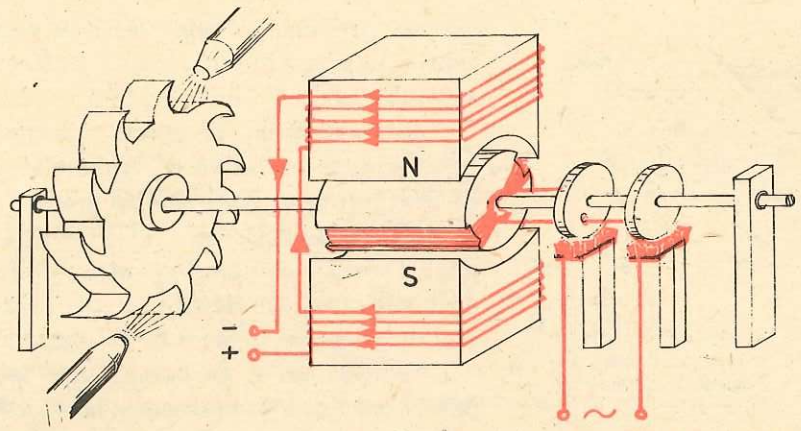


Fig. 7.20. Generator electric de curent alternativ cu bobina indusă rotativă. Schema de principiu.

în acel cîmp magnetic este $E = N \cdot e$. Bobina în care se produce o t.e.m. indusă se numește bobină-indusă sau simplu indus. Așadar, pentru a produce t.e.m. indusă mare, indusul generatorului electric de curent alternativ trebuie să fie o bobină cu multe spire.

În figura 7.20 este prezentată schema unui generator de curent alternativ cu bobina indusă rotativă.

Părți constitutive:

Statorul — este un electromagnet puternic alimentat de la o sursă auxiliară de tensiune continuă. Are rol de inductor. Curentul din spirele electromagnetului se numește curent de excitație căci el generează cîmpul magnetic inductor în care se rotește bobina indusă.

Rotorul — este o bobină (multiplicator) ale cărei spire sînt înfășurate pe un tambur cilindric de fier, de-a lungul generatoarei cilindrului. Are rol de indus. Este plasat în cîmpul magnetic al statorului. Pe axul rotorului se află roata de antrenare care este pusă în mișcare de forța aburului sau apei.

Colectorul — este sistemul alcătuit din două inele metalice așezate pe axul rotorului și două perii metalice (sau de cărbune) care calcă pe inelele metalice. Periile au legătură electrică la două borne. La inele se conectează capetele bobinei rotorului.

Blocul bornelor — cutia cu bornele generatorului, la care se conectează consumatorul.

Carcasa — învelișul protector al generatorului.

Funcționarea. Aburul dintr-un cazan cu abur sau apa unei căderi de apă iese cu mare viteză prin dispozitive speciale numite ajutaje și lovește cu putere paletele roții de antrenare, punînd roata de antrenare în mișcare de rotație și totodată rotorul fixat pe axul roții. În spirele rotorului se induce t.e.m. alternativă care se aplică la bornele generatorului și de aici pe consumatorii externi, producînd curent electric alternativ în consumatorii externi. Alter-

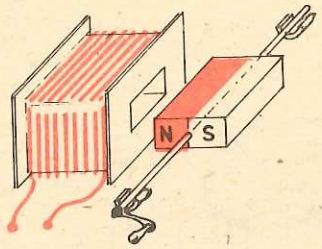


Fig. 7.21. Generator electric de curent alternativ cu bobina indusă fixă (schema de principiu).

natorul produce energie electrică pe seama unui consum de lucru mecanic (al forței apei sau aburului).

Generatoarele de curent alternativ cu bobina indusă rotativă nu trebuie să producă tensiuni prea mari căci se produc scîntei la sistemul de colectare, între perii și inele. Ele nu trebuie construite pentru puteri mari, deoarece curentul electric prin zona de contact între perii și inele ar fi foarte intens.

Generatoarele de curent alternativ de puteri mari se construiesc cu bobina indusă fixă (fig. 7.21). Statorul acestora, fiind alcătuit din bobina în care se induce t.e.m., are rol de indus. Rotorul acestor generatoare este un electromagnet puternic. Astfel de generatoare au puteri foarte mari și produc tensiuni de 6 000 V — 24 000 V. Ele nu au sistem de colectare, capetele bobinei induse fiind legate direct la borne. Țara noastră construiește generatoare de curent alternativ, de puteri foarte mari, pînă la 400 MW, care se folosesc în construcția centralelor electrice (termocentrale, hidrocentrale, centrale nucleare).

7.7. Alcătuirea și funcționarea dinamului

Dinamul este un generator electric de tensiune continuă care produce curent electric continuu, în consumatorii externi conectați la acesta.

Are aceeași construcție ca alternatorul cu bobina indusă rotativă, în afară de sistemul de colectare, unde în locul inelelor s-au montat două semiinele (lamele) pe axul rotorului, într-o anumită poziție față de planul spirelor bobinei (fig. 7.22). Funcționarea sa se bazează pe fenomenul de inducție electromagnetică într-o bobină care se rotește într-un cîmp magnetic.

7.7.1. **Funcționarea dinamului.** Alimentînd bobinele statorului cu o tensiune continuă, producem un cîmp magnetic între polii electromagnetului unde se află bobina indusă rotativă. Învîrtind rotorul, folosind forța aburului sau a apei, se obține o t.e.m. indusă alternativă în bobina acestuia, la fel ca la alternator. Semiinelele L_1 și L_2 sînt astfel fixate pe axul rotorului încît L_1 să facă contact cu peria P_1 și L_2 cu peria P_2 în tot timpul cît o ramură a bobinei traversează cîmpul magnetic într-un singur sens. Astfel, în prima jumătate de rotație, curentul indus în spirele bobinei are un sens, făcînd ca semiinelul L_1 deci și peria P_1 să fie pozitive (prin acestea iese curentul la consumător), iar semiinelul L_2 deci și peria P_2 să fie negative (prin acestea intră curentul care a străbătut consumatorul).

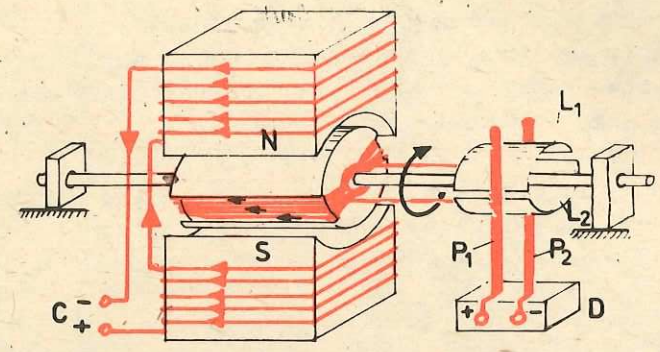


Fig. 7.22. Dinamul sau generatorul electric de curent continuu — (schema de principiu).

În a doua jumătate de rotație, curentul indus în spiră are sens invers, deci semiinelul L_1 se polarizează negativ iar semiinelul L_2 se polarizează pozitiv. Observăm însă că, în a doua jumătate de rotație a rotorului, semiinelul negativ L_1 are contact cu peria P_2 făcînd-o să fie în continuare negativă, iar semiinelul L_2 are contact cu peria P_1, făcînd-o să fie în continuare pozitivă. Cu acest sistem de colectare realizăm păstrarea polarității electrice la cele două perii (plus la peria P_1 și minus la peria P_2), deci tensiune electrică continuă la bornele dinamului.

Curentul electric continuu este foarte necesar în transporturi, telecomunicații, industria chimică etc.

7.7.2. **Reversibilitatea dinamului. Motorul electric de curent continuu.** Alimentînd bobinele electromagnetului cu tensiune continuă și bornele D ale bobinei rotorului tot cu tensiune continuă, prin spirele rotorului se va stabili un curent electric care va interacționa cu cîmpul magnetic dintre polii electromagnetului (fig. 7.23). Va rezulta mișcarea sistemului mobil, adică rotația rotorului. Sensul forței electromagnetice, cu care acționează cîmpul magnetic al statorului asupra curentului electric din spirele rotorului, îl stabilim cu regula mîinii stîngi. Schimbați sensul tensiunii de alimentare la stator sau la rotor și veți observa că se schimbă și sensul de rotație a rotorului.

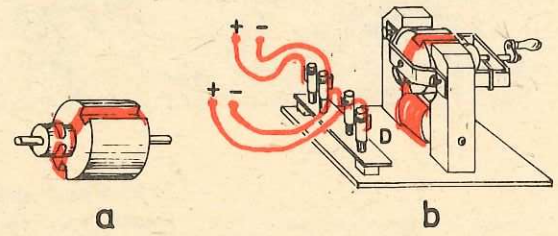


Fig. 7.23. Model didactic de mașină electrică de curent continuu reversibilă:

a) rotorul; *b)* mașina asamblată.

Folosind energia electrică primită de la o sursă de alimentare, mașina produce lucru mecanic de rotație a rotorului și poate pune în mișcare diverse sisteme mecanice. Mașina care consumă energie electrică și efectuează lucru mecanic se numește motor electric sau electromotor.

Dinamul este o mașină electrică reversibilă căci poate funcționa și ca generator electric de tensiune continuă și ca motor electric de curent continuu.

Motoarele electrice de curent continuu se folosesc la tramvaie, troleibuze, locomotive electrice, mașini-unelte, macarale, excavatoare etc.

7.8. Producerea și transportul energiei electrice la distanță

O problemă fundamentală a energeticii este asigurarea energiei în toate localitățile și sectoarele în care se desfășoară o activitate. Resursele primare de energie (combustibili, căderi de apă etc.) sînt dispuse însă în anumite zone de pe suprafața pămîntului. O rezolvare rațională a problemei asigurării energiei impune folosirea energiei electrice, care poate fi transportată relativ ușor. Aceasta presupune producerea energiei electrice în zonele unde există resurse primare energetice și transportarea acestei energii la locurile de consum.

Problema producerii energiei electrice se rezolvă cu ajutorul generatorului electric de inducție în instalații speciale numite centrale electrice, unde se transformă un tip de energie în energie electrică. Ținînd cont de tipul de energie pe care o transformă în energie electrică, distingem următoarele tipuri de centrale electrice:

Hidrocentrala. Transformă energia potențială a apei în energie electrică (fig. 7.24). Trebuie să aibă în construcția ei: barajul pentru lacul de acumulare, conductele pentru căderea apei din lacul de acumulare la turbina de apă, care

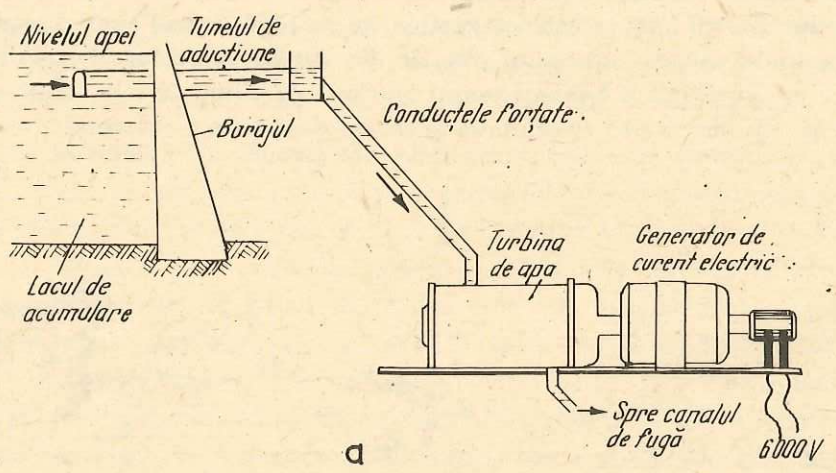


Fig. 7.24. Hidrocentrala:
a) schemă de principiu.

b

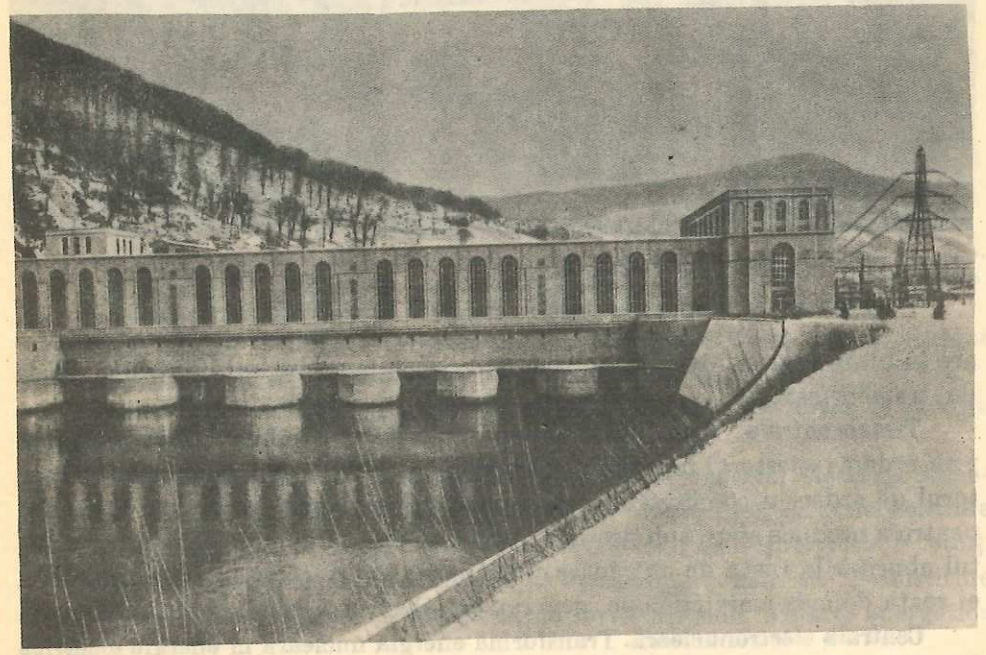
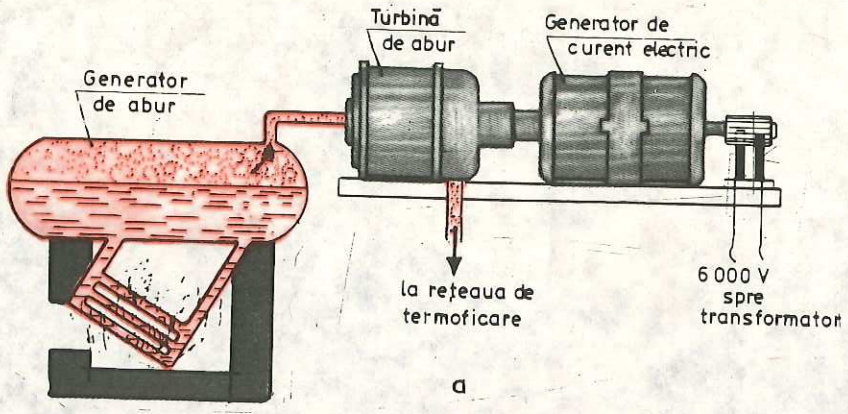
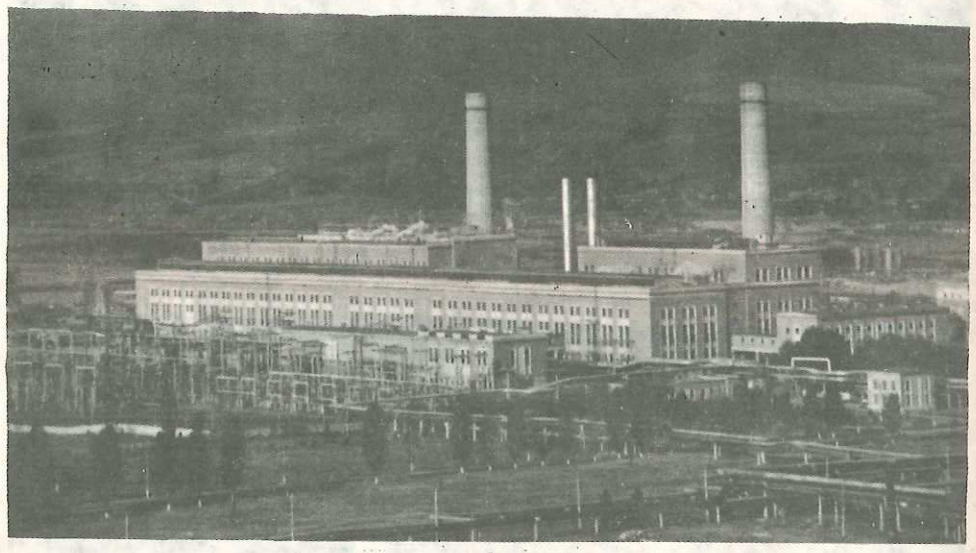

c

Fig. 7.24 b—c:
b) o parte din barajul și lacul de acumulare ale hidrocentralei Vidraru de pe Argeș; *c)* clădirea generatoarelor și o parte din canalul de fugă ale hidrocentralei de pe Bicaz.



a



b

Fig. 7.25. Termocentrala electrică:
a) schema de principiu; *b)* imagine generală a termocentralei de la Borzești.

are în alcătuirea ei roata de antrenare cu cupe, generatorul electric și stația de transformare.

Termocentrala. Transformă energia calorică a combustibililor (degajată prin arderea acestora) în energie electrică (fig. 7.25). Părți componente: cuptorul de ardere a combustibilului, generatorul de aburi (unde se fierbe apa pentru a produce aburi sub presiune foarte mare), conductele pentru transportul aburilor la roata de antrenare, turbina de aburi care are în construcția ei roata de antrenare cu cupe, generatorul electric și stația de transformare.

Centrala electronucleară. Transformă energia nucleară în energie electrică (fig. 7.26). Trebuie să aibă în construcția ei: un reactor nuclear, unde se produc reacțiile nucleare, un sistem de preluare a căldurii din reactor și transfer al acesteia la un schimbător de căldură, o turbină de aburi unde se transformă

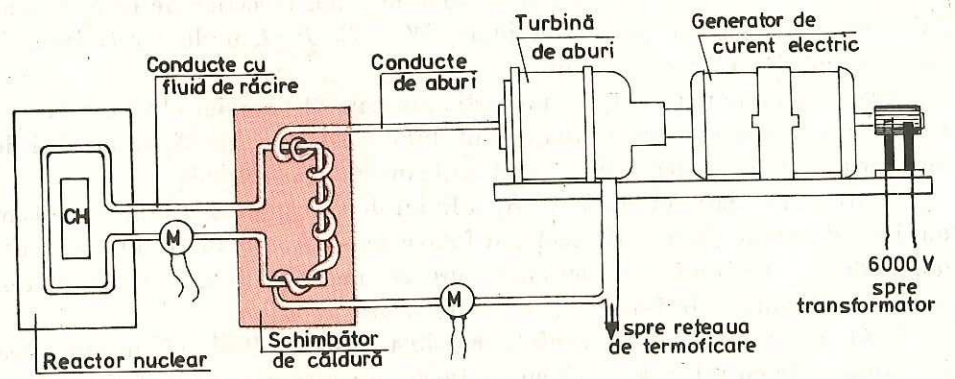


Fig. 7.26. Centrala electronucleară (schema de principiu).

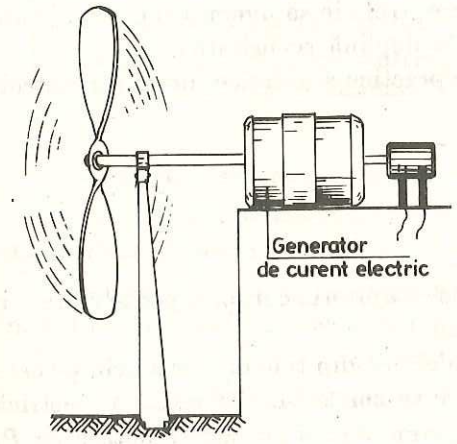


Fig. 7.27. Centrala electroeoliană (schema de principiu).

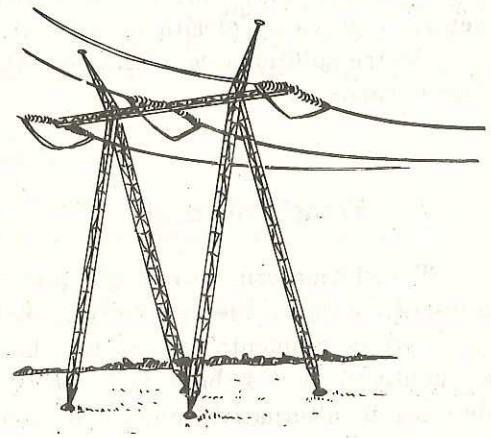


Fig. 7.28. Montaj pentru transportul energiei electrice la distanță (vedere parțială).

căldura în energie mecanică a roții de antrenare și generatorul electric al cărui rotor se află pe axul roții de antrenare a turbinei.

Centrala electroeoliană. Transformă energia cinetică a vînturilor în energie electrică (fig. 7.27).

În țara noastră se folosesc pentru producerea energiei electrice hidrocentrale [Porțile de Fier, Bicaz (fig. 7.24, *c*), Argeș etc.] și termocentrale [Deva, Borzești (fig. 7.25, *b*), Comănești, Grozăvești, Luduș, Ovidiu II etc.].

Un obiectiv de mare însemnătate al energeticii românești îl constituie dezvoltarea, diversificarea și utilizarea cît mai rațională a bazei energetice a țării.

Transportul energiei electrice de la centrala electrică la consumator se face prin conductoare de metal (Al sau Cu) ce alcătuiesc așa-numita linie electrică de transport (fig. 7.28). Conductoarele liniei electrice de transport au

rezistența electrică $R_l \neq 0$. În conductoarele liniei electrice de transport se disipă energie electrică prin efect joule: $W = R \cdot I^2 \cdot t$, unde I este intensitatea curentului electric pe linie.

Așadar, putem realiza un transport economic al energiei electrice la distanță, dacă facem ca intensitatea curentului electric pe linie să fie mică și de asemenea rezistența electrică a liniei de transport să fie mică.

Pentru ca rezistența electrică R_l a liniei de transport să fie mică, putem folosi conductoare groase, de secțiuni foarte mari. Acest lucru nu este cel mai indicat, deoarece conductoarele groase necesită foarte mult metal, prezintă dificultăți de fabricație și de montare pe stîlpi.

Pentru o anumită putere electrică de transport $P = UI$, intensitatea curentului este cu atît mai mică cu cît tensiunea este mai mare. Cum în centralele electrice tensiunea produsă de alternatoare este de 6—20 kV rezultă că, pentru transportul economic al energiei electrice la consumatori aflați la mari distanțe, această tensiune trebuie mărită.

Pe de altă parte, la locul de utilizare trebuie să avem o tensiune joasă, pentru a putea fi folosită în condiții de deplină securitate.

Pentru soluționarea acestor cerințe practice și tehnice, omul a construit transformatorul.

7.9. Transformatorul

Transformatorul este un aparat static cu ajutorul căruia se poate mări sau micșora tensiunea electrică alternativă.

Părți componente: un cadru închis alcătuit din tole de fier-siliciu pe care se montează două bobine. O bobină care se conectează la rețeaua electrică de tensiune alternativă, numită bobină primară (sau primarul), notată cu P, și o bobină care se conectează la consumator, numită bobină secundară (sau secundarul), notată cu S (fig. 7.29).

Funcționarea transformatorului se bazează pe fenomenul de inducție electromagnetică. Cînd bobina primară este străbătută de un curent alternativ, bobina secundară este străbătută de un flux magnetic variabil.

Fig. 7.29. Transformatorul electric:
a) dispozitivul asamblat; *b)* semne convenționale.

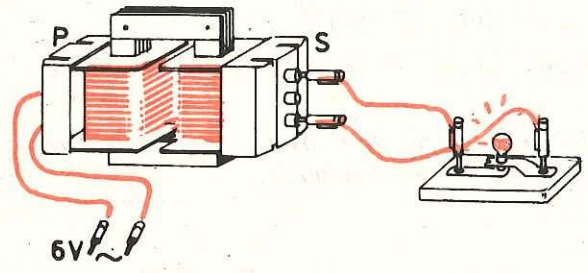


Fig. 7.30. Transformatorul electric în funcțiune.

E | **Experimentul 5.** Realizați montajul din figura 7.30. Conectați bobina P de 250 spire la 6 V_{cc} și bobina S de 250 spire la un bec de 6,3 V. Închideți circuitul bobinei P și veți observa că becul nu se aprinde. Conectați bobina P la 6 V_{ca} și veți observa că becul se aprinde luminînd aproape normal. Măsurînd cu voltmetrul tensiunea aplicată pe bobina P și tensiunea indusă în bobina S, veți constata că ele sînt aproape egale.

Din acest experiment rezultă următoarele:

— în circuitul bobinei secundare se produce curent electric, numai atunci cînd bobina primară este alimentată la o sursă de curent alternativ;

— la un număr egal de spire în primar N_p și în secundar N_s, tensiunea indusă în secundar este egală cu tensiunea aplicată pe bobina primară:

$$N_s = N_p \Rightarrow U_s = U_p, \text{ deci } \frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s} = 1.$$

E | **Experimentul 6.** Conectați bobina P de 500 spire la 6 V_{ca} și bobina S de 250 spire la becul de 6,3 V și închideți circuitul bobinei P.

Veți observa că becul luminează foarte slab, deci tensiunea indusă în secundar este mai mică decît tensiunea în primar $U_s < U_p$. Măsurînd cu voltmetrul (de c.a.) U_s și U_p, veți constata că $U_s = \frac{U_p}{2}$.

Deci:

— dacă $N_s < N_p$, atunci și $U_s < U_p$;

— dacă $N_s = \frac{N_p}{2}$, atunci $U_s = \frac{U_p}{2}$ deci și $\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s} = 2$.

E | **Experimentul 7.** Conectați P de 250 spire la 6 V_{ca} și S de 500 spire la un bec de 12 V. Închideți circuitul bobinei P și veți constata că becul luminează normal. Măsurați U_s și U_p, veți constata că $U_s = 2U_p$.

Prin urmare:

— dacă $N_s > N_p$, atunci $U_s > U_p$;

— dacă $N_s = 2N_p$, atunci $U_s = 2U_p$, deci $\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s} = \frac{1}{2}$.

T.e.m. indusă în secundarul unui transformator este direct proporţională cu numărul de spire din bobina secundară.

Raportul:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} = K$$

se numeşte raport de transformare şi se notează cu K.

Pentru un anumit transformator, raportul de transformare este o constantă.

Cînd $K > 1$, atunci $\frac{U_p}{U_s} > 1$, deci $U_s < U_p$ şi transformatorul se numeşte *coborîtor de tensiune* (fig. 7.31, *a*).

Cînd $K < 1$, $\frac{U_p}{U_s} < 1$, deci $U_s > U_p$, şi transformatorul se numeşte ridicător de tensiune (fig. 7.31, *b*).

Într-un transformator bine construit, puterea în circuitul secundar este foarte apropiată de puterea în circuitul primar $P_s \simeq P_p$.

În cazul transformatoarelor la care $P_p = P_s$, avem:

$$U_s \cdot I_s = U_p \cdot I_p \text{ deci } \frac{U_p}{U_s} = \frac{I_s}{I_p} = K.$$

Din această ultimă egalitate rezultă că atunci cînd transformatorul „ridică" tensiunea coboară intensitatea şi reciproc. Această relaţie între tensiunea şi intensitatea curentului electric în secundarul transformatorului este foarte importantă pentru transportul energiei electrice la distanţă.

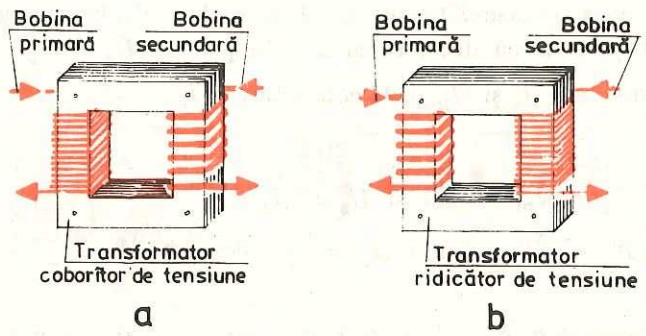


Fig. 7.31. *a)* Transformator coborîtor de tensiune; *b)* transformator ridicător de tensiune.

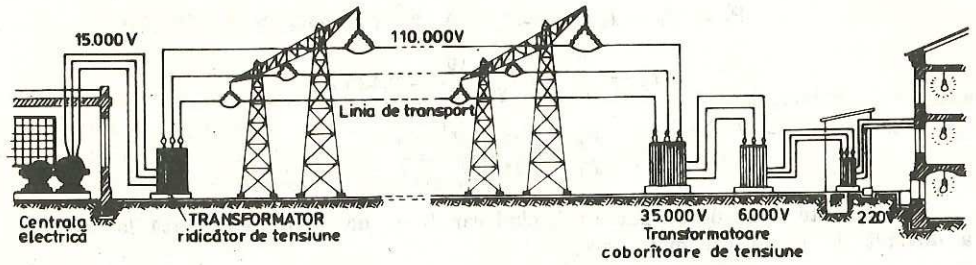


Fig. 7.32. Schema instalaţiilor pentru transportul energiei electrice la distanţă.

Transportul energiei electrice la distanţă, de la generator la consumator, cuprinde trei instalaţii distincte, conectate între ele: transformatorul ridicător montat între generator şi linia de transport, linia de transport şi transformatorul coborîtor montat între linia de transport şi consumator (fig. 7.32).

Transformatorul electric are numeroase alte aplicaţii în industrie, tehnică şi activitatea practică, permiţînd obţinerea tensiunilor dorite în diferite instalaţii electrotehnice şi electronice.

Problemă rezolvată

Primarul unui transformator conectat la reţeaua de 220 $V_{c.a}$ are 500 spire. La bornele secundarului de 50 spire se conectează un rezistor cu rezistenţa electrică de 4,4 Ω. Considerînd că rezistenţa electrică a bobinei secundare este nulă, să se determine: *a)* puterea electrică absorbită de transformator de la reţeaua de c.a.; *b)* intensităţile curentului electric în bobinele transformatorului.

Cum se modifică puterea electrică absorbită de generator de la reţeaua electrică, dacă se înlocuieşte rezistorul de sarcină $R = 4{,}4\ \Omega$ cu altul $R' = 17{,}6\ \Omega$?

Rezolvare. Puterea electrică absorbită de transformator de la reţeaua electrică este $P_p = U_p \cdot I_p$. Necunoscînd I_p, ne vom folosi de egalitatea $P_p = P_s = U_s \cdot I_s$, unde U_s se poate determina din raportul de transformare $\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s}$ iar $I_s = \frac{U_s}{R}$. Aşadar:

$$U_s = \frac{N_s}{N_p} \cdot U_p = \frac{50}{500} \cdot 220\ \text{V} = 22\ \text{V};$$

$$I_s = \frac{22\ \text{V}}{4{,}4\ \Omega} = 5\ \text{A};$$

$$P_p = P_s = 22\ \text{V} \cdot 5\ \text{A} = 110\ \text{W};$$

$$I_p = \frac{P_p}{U_p} = \frac{110\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 0{,}5\ \text{A}.$$

Dacă $R' = 17{,}6\ \Omega$, atunci:

$$I_s' = \frac{U_s}{R'} = \frac{22\ \text{V}}{17{,}6\ \Omega} = 1{,}25\ \text{A};$$

$$P'_p = P'_s = I_s \cdot U_s = 1{,}25\ \text{A} \cdot 22\ \text{V} = 27{,}5\ \text{W};$$

$$I'_p = \frac{P'_p}{U_p} = \frac{27{,}5\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 0{,}125\ \text{A};$$

$$\frac{P'_p}{P_p} = \frac{27{,}5\ \text{W}}{110\ \text{W}} = \frac{1}{4}.$$

Deci, puterea scade de patru ori, cînd rezistența de sarcină conectată la secundar a devenit de patru ori mai mare.

Rezumat

Fluxul magnetic prin suprafața S a unui circuit aflat într-un cîmp magnetic este mărimea ce caracterizează cîmpul magnetic ce străbate acea suprafață. Valoarea sa numerică se exprimă prin produsul $B \cdot S_n$ dintre inducția magnetică și aria secțiunii normale a cîmpului magnetic ce străbate suprafața S a circuitului.

Variația fluxului magnetic prin suprafața S a unui circuit aflat într-un cîmp magnetic descrie fenomenul de inducție electromagnetică în acel circuit.

Inducția electromagnetică într-un circuit este fenomenul de producere a unei tensiuni electromotoare în acel circuit datorită variației fluxului magnetic ce străbate circuitul.

Curentul de inducție are un astfel de sens, încît prin cîmpul magnetic propriu ce îl produce se opune variației fluxului magnetic inductor (regula lui Lenz).

O spiră care se rotește într-un cîmp magnetic este cel mai simplu model de generator electric de inducție pentru producerea curentului alternativ.

Generatorul electric de inducție (de curent alternativ sau de curent continuu) este mașina electrică ce transformă energia mecanică în energie electrică.

Motorul electric este mașina electrică ce transformă energia electrică în energie mecanică.

Transformatorul este un aparat static care funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică într-o bobină parcursă de fluxul magnetic variabil produs de curentul alternativ dintr-o altă bobină. Cu un transformator putem să ridicăm sau să coborîm tensiunea electrică alternativă a unei surse.

Centrala electrică este acea instalație industrială specializată în producerea energiei electrice pe seama consumului unui alt tip de energie.

Întrebări. Probleme

1. În ce sens trebuie rotit cadrul din figura 7.33, pentru ca în circuitul exterior să ia naștere un curent care să devieze acul magnetic în sensul indicat?

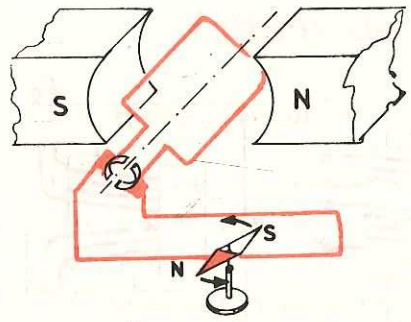


Fig. 7.33. Pentru problema 1.

2. Desenați schema unei sonerii electrice la care să nu se întrerupă contactul la rețeaua de alimentare și explicați funcționarea ei.

3. Capătă proprietăți magnetice o bară de fier, dacă este introdusă într-o bobină alimentată în curent alternativ? Justificați răspunsul.

4. În raport cu energia mecanică consumată de un generator electric, energia electrică furnizată de el este: *a)* mai mare; *b)* egală; *c)* mai mică. Care dintre aceste afirmații poate fi adevărată și în ce condiții?

5. În raport cu energia mecanică furnizată de un electromotor, energia electrică consumată de el este: *a)* mai mare; *b)* egală; *c)* mai mică. Care dintre aceste afirmații poate fi adevărată? Justificați răspunsul.

6. Într-un transformator se cunosc: $N_p = 25$ spire; $N_s = 10$ spire; $I_p = 0{,}2$ A. Determinați I_s.

R: 0,5 A.

7. Pentru un transformator se cunosc: $U_p = 175$ V; $U_s = 50$ V; $N_s = 20$ spire. Determinați N_p.

R: 70 spire.

8. Alimentînd primarul de 500 spire al unui transformator cu 24 V, prin acesta se stabilește un curent alternativ de 0,2 A. Determinați intensitatea curentului alternativ produs în secundarul acestui transformator, alcătuit din: *a)* 2 000 spire; *b)* 10 spire; *c)* o spiră. Ce diametru trebuie să aibă sîrma de cupru din care se face acest secundar (în fiecare caz în parte), dacă se știe că un fir de cupru cu secțiunea de 1 mm² ar suporta un curent maxim $i = 4$ A?

R: 0,05 A; 10 A; 100 A; 0,13 mm; 1,74 mm; 5,62 mm.

9. Bobina primară a unui transformator de sudură are 440 spire. Conectat la rețea, transformatorul absoarbe o putere de 4 400 W. Cîte spire trebuie să aibă bobina secundară, dacă prin ea trebuie să circule un curent cu intensitatea de 110 A? Ce diametru au spirele bobinei secundare, dacă pe fiecare mm² de secțiune este admis un curent cu intensitatea maximă $i = 5$ A?

R: 20 spire; 5,3 mm.

10. De ce trebuie strîns foarte puternic pachetul de tole din care este confecționat miezul de fier al unui transformator? Ce evenimente s-ar produce, dacă acest pachet nu ar fi bine strîns?

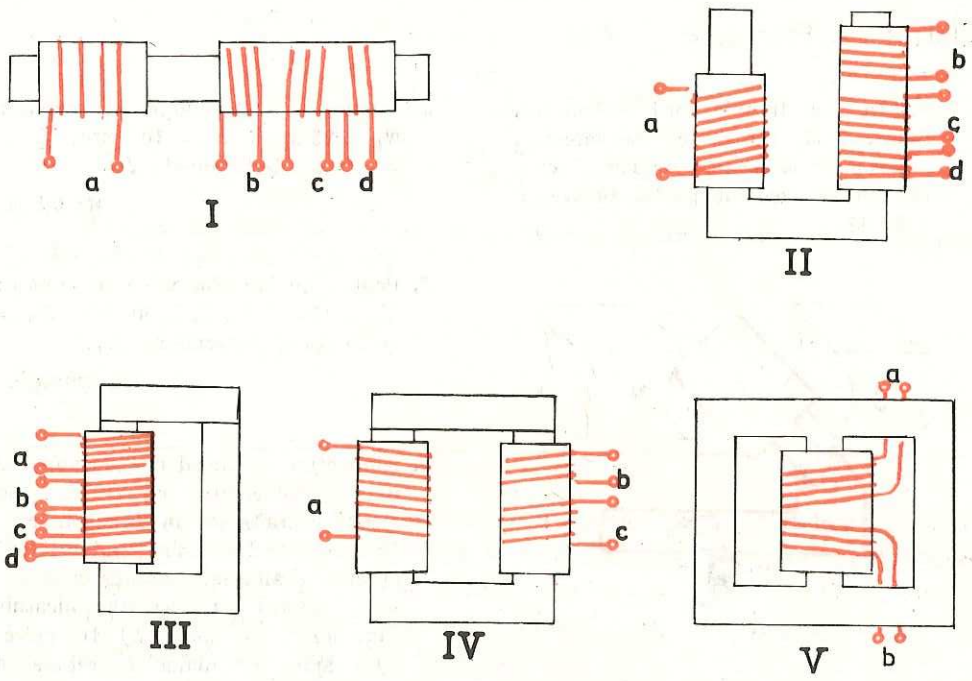


Fig. 7.34. Pentru problema 11.

11. Pot fi transformatoare sistemele din figura 7.34? De ce?

12. Explicați producerea t.e.m. alternative în bobina statorului generatorului electric prezentat în figura 7.21. Considerînd că puterea dezvoltată de generator este de 200 MW, iar t.e.m. indusă în stator este de 20 000 V, determinați intensitatea curentului electric din spirele statorului. Cunoscînd că spirele bobinei statorului se fac din bară de cupru cu secțiunea dreptunghiulară, avînd grosimea de 4 cm, determinați lățimea barei de cupru dacă este admis un curent cu intensitatea maximă $i = 5$ A pe fiecare mm² din secțiunea barei. Cîte becuri de 40 W poate alimenta acest generator?

R: 10 000 A; 5 cm; 5 milioane becuri.

8.

Noțiuni de optică geometrică

8.1. Propagarea luminii

Lumina care ajunge la un corp sau la ochiul nostru provine de la un alt corp care emite lumină și care se numește sursă sau izvor de lumină.

Dați exemple de izvoare de lumină.

În experimentele de optică, veți folosi, în multe cazuri, drept sursă de lumină, lampa de 6 V din trusa de fizică „Didactica" (fig. 8.1). Ea este alcătuită dintr-un bec electric cu filament concentrat, montat într-un tub metalic prevăzut cu o deschidere circulară. Lampa se poate monta pe un dispozitiv numit banc optic, dispozitiv pe care îl veți folosi des în experimentele din cadrul acestui capitol.

Majoritatea corpurilor nu au lumină proprie, devenind vizibile atunci cînd primesc lumină de la un izvor de lumină și răspîndesc în jurul lor o parte din aceasta.

Din clasa a VI-a, cunoașteți faptul că există corpuri care permit trecerea luminii prin ele, numite corpuri transparente, și corpuri prin care lumina nu trece, numite corpuri opace. Se știe, de asemenea, că nu există corpuri perfect transparente sau perfect opace.

Dați exemple de corpuri transparente și de corpuri opace.

Corpurile care lasă să treacă prin ele numai o parte din lumină, nepermițînd observarea contururilor sau detaliilor obiectelor analizate, se numesc corpuri translucide (de exemplu: sticla mată, ceața etc.).

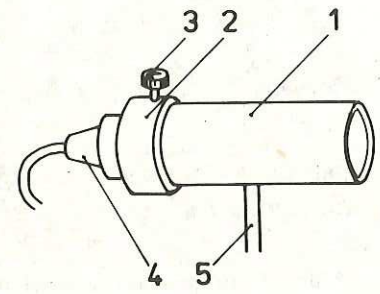


Fig. 8.1. Lampă de 6 V pentru experimente de optică:
(1) tub metalic; (2) manșon din bachelită; (3) șurub pentru fixarea fasungului; (4) fasungul; (5) tija de susținere.

Izvoarele luminoase, de exemplu Soarele, un bec electric, sînt izvoare întinse (cu suprafaţă mare). Unele izvoare luminoase pot fi aproximate ca fiind punctuale, deşi în realitate nu există izvoare punctuale. Astfel, privite de pe Pămînt, stelele pot fi considerate surse punctuale. O sursă practic punctuală care poate da o lumină intensă se realizează aşezînd în faţa unei lămpi un paravan cu o mică deschidere circulară (fantă).

Se poate observa cu uşurinţă că lumina de la o sursă se propagă în toate direcţiile.

E **Experimentul 1.** Montaţi lampa în modulul mobil. Fixaţi fantele circulare de diametre 6 mm şi respectiv 20 mm în suportul pentru fante, iar acestea în modulele mobile de pe bancul optic (fig. 8.2, *a*). Deplasaţi cele două suporturi pînă cînd, privind prin fante spre filamentul becului, îl observaţi. În locul fantelor circulare, montaţi suportul cu fanta simplă şi un ecran perpendicular pe acest suport (fig. 8.2, *b*). Observaţi în acest caz mersul razelor de lumină pe ecran.

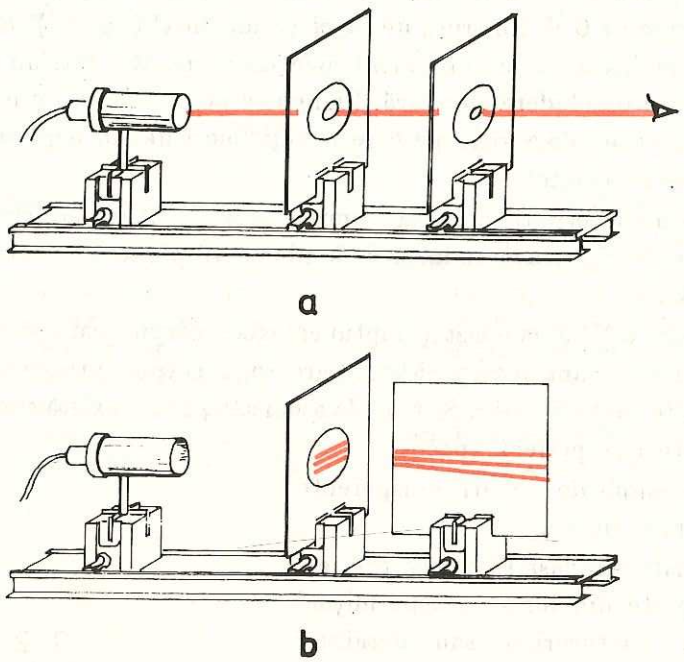


Fig. 8.2. Montaj experimental pentru studiul propagării luminii.

Concluzie. *Lumina se propagă în linie dreaptă (după o anumită direcţie), într-un mediu transparent şi omogen*.*

* Mediul omogen are aceleaşi proprietăţi în toate punctele sale.

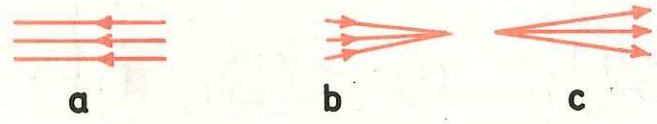


Fig. 8.3. Fascicule luminoase:
a) paralel; *b)* convergent; *c)* divergent.

La trecerea luminii printr-o fantă (un mic orificiu) se obţine un fascicul luminos. Imaginaţi-vă că putem obţine fascicule de lumină din ce în ce mai înguste. Cel mai fin fascicul de lumină pe care ni-l putem imagina îl numim *rază de lumină*. Prin urmare, raza de lumină este ceva inventat de noi pentru a reprezenta un fascicul de lumină foarte îngust; spunem că ea este un model.

Un fascicul luminos este, în fond, un fascicul de raze de lumină. Dacă marginile fasciculului sînt paralele, spunem că fasciculul este paralel sau cilindric (fig. 8.3, *a*).

Dacă razele se întîlnesc toate într-un punct, fapt ce-l putem realiza cu ajutorul unei lupe, fasciculul se numeşte convergent (fig. 8.3, *b*), iar dacă razele pornesc dintr-un punct *comun* (izvor punctual) fasciculul se numeşte divergent (fig. 8.3, *c*).

Optica geometrică studiază fenomenele luminoase pe baza conceptului de rază de lumină.

Propagarea rectilinie a luminii este confirmată de numeroase observaţii din viaţa de toate zilele. Astfel, dacă priviţi fasciculele luminoase provenite de la farurile unui automobil într-o noapte cu ceaţă sau cele provenite de la proiectoare (fig. 8.4), puteţi constata că ele sînt delimitate de linii drepte.

Ştiind că lumina se propagă în linie dreaptă, explicaţi formarea umbrei şi penumbrei (fig. 8.5, *a* şi *b*) şi apoi eclipsele de Lună şi de Soare (fig. 8.6, *a* şi *b*). Cînd sînt parţiale şi cînd sînt totale eclipsele de Lună? Dar eclipsele de Soare?

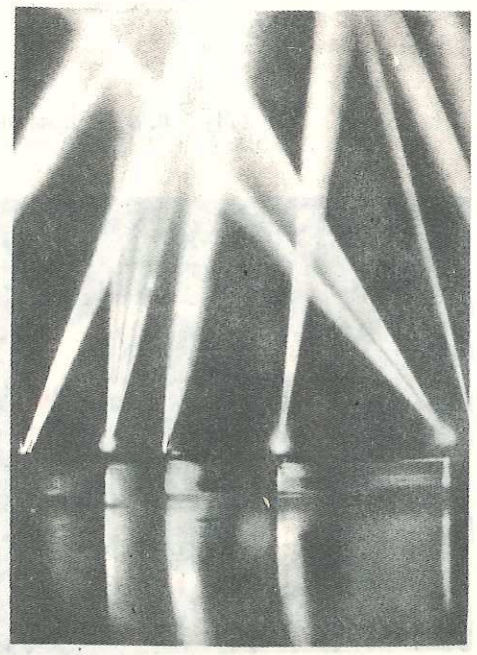


Fig. 8.4. Fascicule de lumină provenite de la proiectoare.

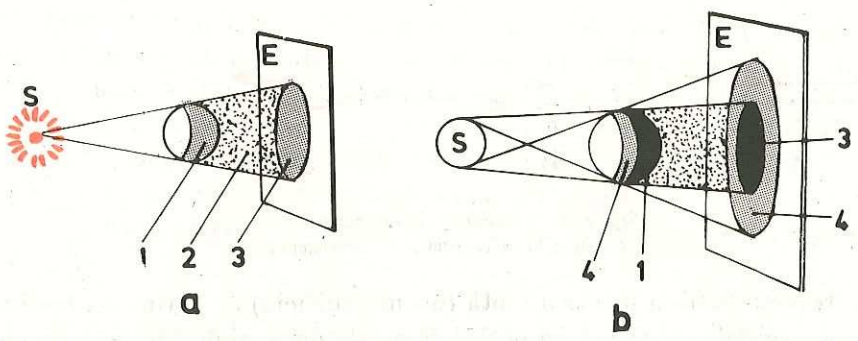


Fig. 8.5. Umbra şi penumbra:
(1) umbra proprie; (2) con de umbră; (3) umbra produsă pe ecran; (4) penumbra.

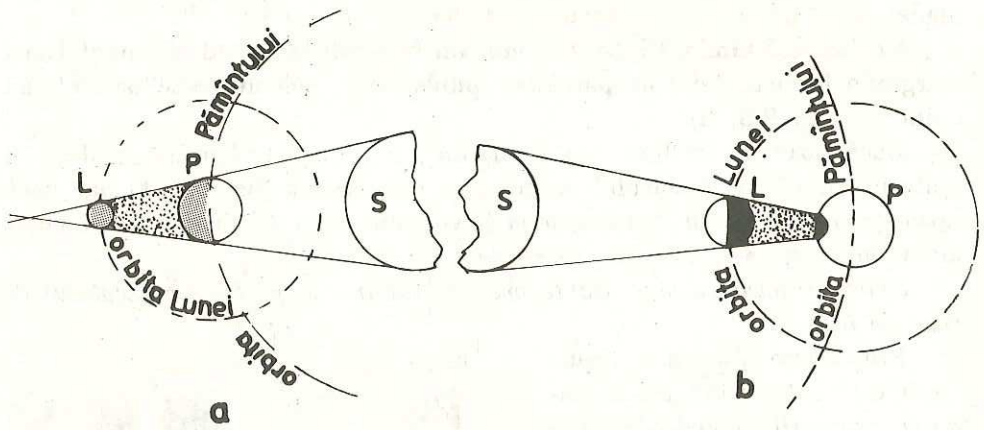


Fig. 8.6. *a)* Eclipsă de Lună; *b)* eclipsă de Soare.

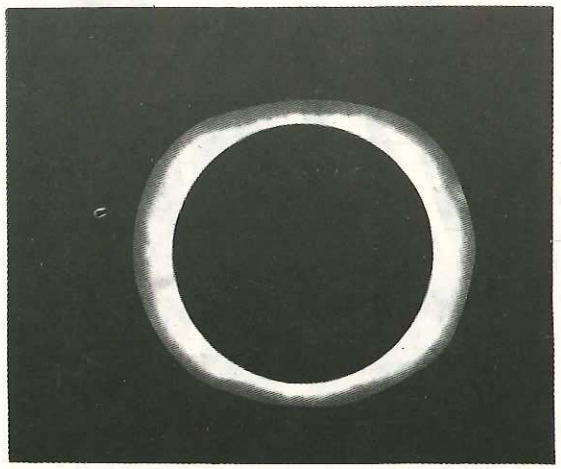


Fig. 8.7. Eclipsă totală de Soare.

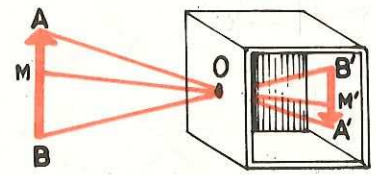


Fig. 8.8. Camera obscură.

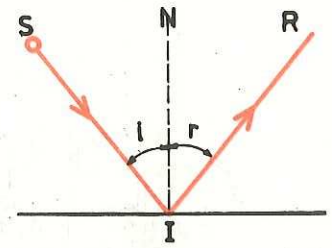


Fig. 8.9. Reflexia luminii:
SI — rază incidentă, *IR* — rază reflectată, *NI* — normala la suprafaţa de reflexie în punctul de incidenţă (*I*), *i* — unghi de incidenţă, *r* — unghi de reflexie.

Eclipsele sînt fenomene pe care ştiinţa le poate prevedea. O eclipsă totală de Soare va putea fi observată în ţara noastră în dimineaţa zilei de 11 august 1999. Pînă la acea dată, pe glob, se vor mai observa eclipse totale de Soare, dar din alte zone geografice.

Propagarea rectilinie a luminii explică şi formarea imaginilor în camera obscură. Aceasta este o cutie paralelipipedică ce are pe o faţă un mic orificiu O (de ordinul milimetrilor), iar pe faţa opusă un ecran translucid. Dacă un corp luminos AB (de exemplu, filamentul unui bec electric) se aşază în faţa orificiului O, un observator vede pe faţa opusă corpul reprodus răsturnat $A'B'$, adică imaginea corpului AB (fig. 8.8). Explicaţi formarea imaginilor în camera obscură.

Viteza de propagare a luminii în aer este de aproximativ 300 000 km/s, iar în alte medii transparente ea are valori mai mici.

8.2. Reflexia luminii. Oglinzi plane şi oglinzi sferice

O rază de lumină SI care întîlneşte o suprafaţă plană şi lucioasă (o oglindă plană) într-un punct I (fig. 8.9) îşi schimbă direcţia de propagare, întorcîndu-se în mediul din care a venit pe drumul IR. Acest fenomen este numit reflexia luminii.

Reflexia luminii este fenomenul de schimbare a direcţiei de propagare a luminii la suprafaţa de separare a două medii, lumina întorcîndu-se în mediul din care a venit.

Legile reflexiei, stabilite experimental, sînt:

1. **Raza incidentă, raza reflectată şi normala sînt în acelaşi plan.**
2. **Unghiul de reflexie şi unghiul de incidenţă au aceeaşi măsură** $\hat{r} = \hat{i}$.

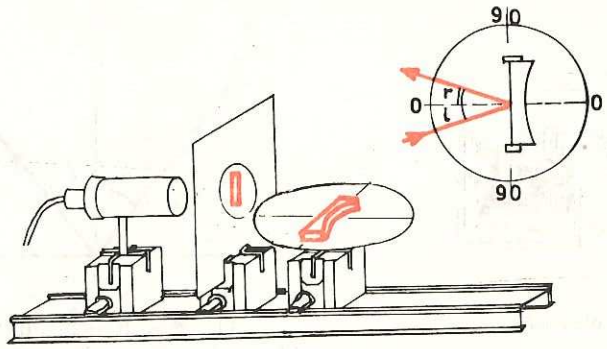


Fig. 8.10. Montaj experimental pentru verificarea legilor reflexiei.

Verificați experimental aceste legi, folosind discul optic sau discul Hartl, prevăzut cu o oglindă plană (fig. 8.10).

Observații. 1. Dacă unghiul de incidență $\hat{i} = 0$, atunci și unghiul de reflexie $\hat{r} = 0$, adică atît raza incidentă cît și raza reflectată se propagă pe direcția normalei.

2. Dacă s-ar schimba suprafața lucioasă cu o suprafață reflectătoare ce prezintă asperități (denivelări), se va constata că o parte din lumină se împrăștie în toate direcțiile. Fenomenul poartă numele de reflexie difuză* (fig. 8.11,*a*). Reflexia pe o suprafață metalică lustruită (fig. 8.11, *b*) este o reflexie dirijată. Reflexia difuză permite observarea obiectelor care nu emit lumină. Dacă obiectele ar avea suprafața lucioasă și netedă, nu le-am putea observa detaliile decît în direcția razelor reflectate.

O aplicație importantă a fenomenului de reflexie a luminii o constituie oglinzile. Oglinzile sînt suprafețe lucioase, reflectătoare. După forma supra-

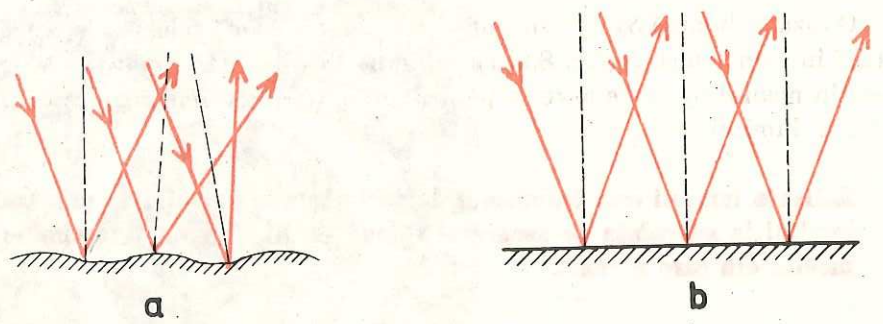


Fig. 8.11. *a)* Reflexia difuză; *b)* reflexia pe o suprafață plană.

* Suprafața cu asperități poate fi înlocuită în fiecare punct cu planul tangent care joacă rolul unei oglinzi plane.

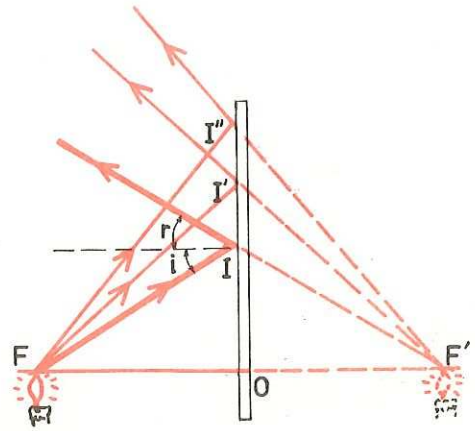


Fig. 8.12. Formarea imaginii unui obiect într-o oglindă plană.

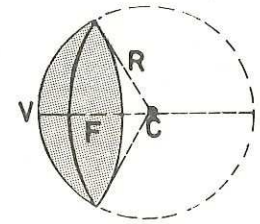


Fig. 8.13. Elementele unei oglinzi sferice concave.

fetei reflectătoare, ele pot fi plane sau sferice. De obicei, oglinzile se confecționează prin depunerea unui strat metalic subțire (argint, aluminiu etc.) pe sticlă. Suprafața unui lichid în echilibru este o oglindă plană. Locul unde se formează imaginea unui obiect într-o oglindă plană poate fi determinat cu ajutorul legilor reflexiei (fig. 8.12).

Din figura 8.12 se observă că triunghiurile dreptunghice FOI și $F'OI$ sînt congruente (au o latură comună OI și $\widehat{FIO} = \widehat{F'IO}$), de unde rezultă că $FO \equiv F'O$, adică imaginea F' este simetrică cu obiectul F față de oglindă.

Imaginea este virtuală; ea nu poate fi prinsă pe un ecran în cazul unui experiment, iar în cazul construcției geometrice se află la intersecția prelungirii razelor reflectate. O imagine reală poate fi prinsă pe un ecran, aflîndu-se la intersecția razelor reflectate.

Imaginea unui obiect într-o oglindă plană este o imagine virtuală. Obiectul și imaginea sînt simetrice față de oglindă.

Oglinzile sferice sînt constituite din calote sferice cu suprafața interioară reflectătoare (oglinzi concave) sau cu suprafața exterioară reflectătoare (oglinzi convexe).

În figura 8.13 sînt prezentate elementele unei oglinzi sferice: centrul de curbură C — centrul sferei din care face parte oglinda, raza de curbură R — raza sferei din care face parte oglinda, vîrful oglinzii V, axa optică principală — dreapta ce trece prin vîrful oglinzii și prin centru, focarul principal F — un punct situat pe axa optică la jumătatea distanței între vîrf și centru.

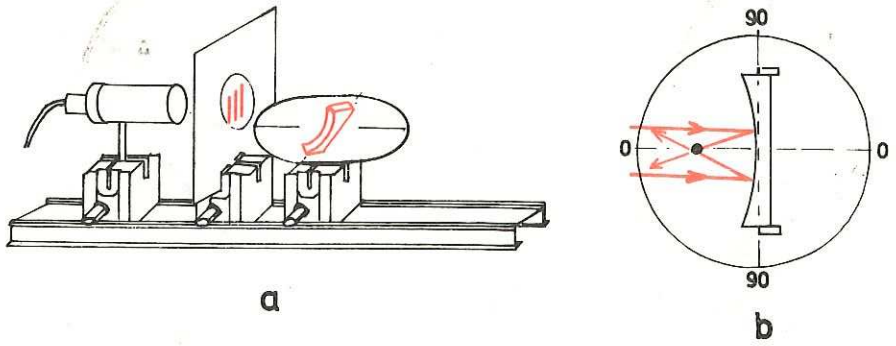


Fig. 8.14. Montaj experimental pentru studiul oglinzilor sferice.

E **Experimentul 2.** Realizați montajul din figura 8.14, *a*, astfel încît pe discul optic să apară un fascicul de raze paralele. În calea lor și perpendicular pe ele, fixați oglinda concavă. Razele incidente paralele, reflectate de oglindă, se vor strînge în focar (fig. 8.14, *b*). Se măsoară distanța de la vîrful oglinzii pînă în focar (distanța focală).

Cunoscînd distanța focală f și raza de curbură R a oglinzii, se stabilește dependența dintre ele și anume:

$$f = \frac{R}{2}.$$

Înlocuiți oglinda concavă de pe disc cu o oglindă convexă (fig. 8.14, *c*). Cum este focarul principal al acestei oglinzi: real sau virtual? Explicați de ce?

E **Experimentul 3.** Fixați pe masă, într-o bucată de plastilină (sau pe un alt suport) o lumînare aprinsă și așezați oglinda concavă, a cărei distanță focală ați măsurat-o în experimentul 2, la o distanță de lumînare mai mare decît dublul distanței focale. Deplasați o foaie albă de hîrtie, între oglindă și lumînare, pînă observați imaginea lumînării.

Veți constata că ea este reală, răsturnată și mai mică decît obiectul. Construcția geometrică a acestei imagini o puteți realiza ținînd seama de legile reflexiei.

Se consideră că obiectul AB este perpendicular pe axa optică principală a oglinzii (ne interesează numai orientarea, nu și detaliile lui). Se duc două raze: 1) raza paralelă cu axa optică principală, care se reflectă și trece prin

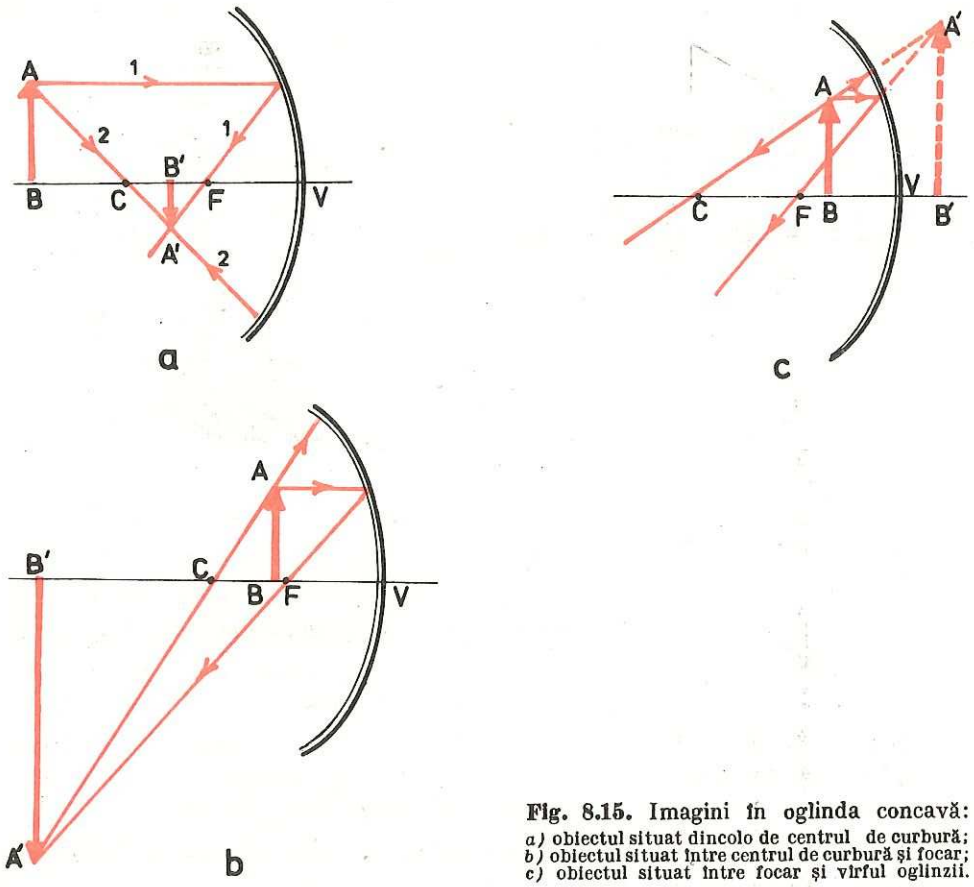


Fig. 8.15. Imagini în oglinda concavă:
a) obiectul situat dincolo de centrul de curbură;
b) obiectul situat între centrul de curbură și focar;
c) obiectul situat între focar și vîrful oglinzii.

focar și 2) raza care trece prin centrul de curbură C și se reflectă pe aceeași direcție ($\hat{i} = 0$ și $\hat{r} = 0$). La întîlnirea razelor reflectate se obține punctul A', imaginea punctului A. Ducînd din A' perpendiculara pe axa optică principală, se obține B', imaginea lui B. Segmentul $A'B'$ este imaginea obiectului AB (fig. 8.15, *a*).

Dacă obiectul va fi situat la o distanță de oglindă cuprinsă între f și $2f$, se va obține o imagine reală, răsturnată și mai mare decît obiectul (fig. 8.15, *b*), iar dacă obiectul se va afla între focar și oglindă, imaginea va fi virtuală (nu o veți putea obține pe ecran), dreaptă și mai mare decît obiectul (fig. 8.15, *c*).

Construiți imaginea și verificați experimental caracteristicile ei, cînd obiectul este situat în planul care conține centrul de curbură și în planul focal al oglinzii concave.

E **Experimentul 4.** Așezați lumînarea aprinsă în fața unei oglinzi convexe. Modificați-i poziția față de oglindă și observați de fiecare dată imaginea.

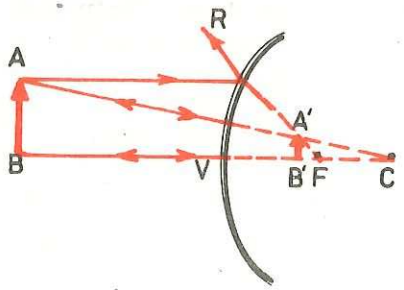


Fig. 8.16. Formarea imaginii în oglinda convexă.

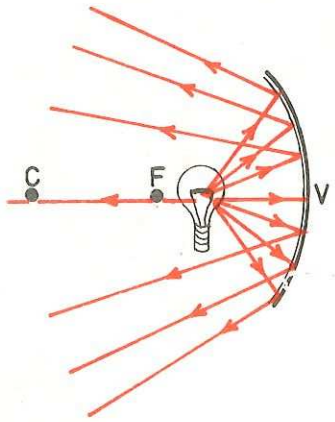


Fig. 8.17. Reflector.

Veţi constata că, indiferent de poziţia acesteia faţă de oglindă, imaginea este virtuală, dreaptă şi mai mică decît obiectul. Construcţia geometrică a imaginii într-o oglindă convexă este prezentată în figura 8.16.

Oglinzile sferice concave sînt folosite la construcţia farurilor, a proiectoarelor, a telescoapelor, a unor aparate medicale. Farul este o instalaţie care proiectează lumina provenită de la o sursă de lumină, sub formă de fascicul divergent. El conţine un reflector, alcătuit dintr-o oglindă concavă, care dirijează fasciculul de lumină, şi o sursă luminoasă aşezată între focar şi vîrful oglinzii, în apropierea focarului (de obicei un bec electric care are filamentul de dimensiuni mici) (fig. 8.17). Farul este folosit pentru iluminarea drumului din faţa vehiculelor în mişcare (automobile, motociclete, biciclete), pentru iluminarea terenului de aterizare a avioanelor în timpul nopţii, pentru iluminarea locului de muncă sau a unor monumente şi clădiri. Farurile instalate deasupra nivelului mării servesc drept reper în navigaţia maritimă (fig. 8.18).

Fig. 8.18. Fasciculele luminoase ale unui far.

Oglinzile concave sînt folosite şi la captarea energiei solare şi transformarea ei în căldură.

Oglinzile convexe sînt utilizate ca oglinzi retrovizoare. Dacă aţi privit vreodată în oglinzile pe care le au lateral motocicletele, automobilele, tramvaiele etc., aţi putut observa cum vehiculele aflate în spate apar foarte mici, astfel încît conducătorul auto poate vedea o mare porţiune din drum.

Problemă rezolvată

Un izvor luminos punctual este plasat la 40 cm deasupra şi perpendicular pe centrul unei oglinzi circulare plane cu diametrul de 20 cm, dispusă orizontal. Oglinda este la 2 m de tavan. Calculaţi diametrul cercului luminos obţinut pe plafon prin reflexia luminii pe oglindă (fig. 8.19).

Rezolvare. Din punctul S se duc două raze marginale la extremităţile diametrului AA' care se vor reflecta ajungînd pe tavan în punctele B, B'. Din figura 8.19 se observă că $\widehat{SAO} \equiv \widehat{MBA}$ (au acelaşi complement). Triunghiurile SAO şi MBA sînt asemenea, avînd toate unghiurile congruente. Vom scrie relaţia de asemănare:

$$\frac{SO}{MA} = \frac{OA}{MB} \Rightarrow MB = \frac{MA \cdot OA}{SO} = \frac{2 \cdot 0{,}1}{0{,}4}\ \text{m} = 0{,}5\ \text{m}.$$

Dar $O'M = OA = 0{,}1$ m. Deci $O'B = 0{,}6$ m, iar diametrul $BB' = 1{,}2$ m.

8.3. Refracţia luminii

8.3.1. **Refracţia luminii şi legile ei.** Considerăm un fascicul de lumină, care cade pe suprafaţa unei ape (fig. 8.20). La suprafaţa de separare a celor două medii transparente 1 şi 2 (aer şi apă), fasciculul se împarte în două: unul situat în aer (fasciculul reflectat) şi altul în apă (fasciculul refractat).

Refracţia luminii este fenomenul de schimbare bruscă a direcţiei de propagare a luminii, cînd traversează suprafaţa de separare a două medii transparente.

Suprafaţa de separare este numită suprafaţă refringentă.

Fig. 8.19. Pentru problema rezolvată.

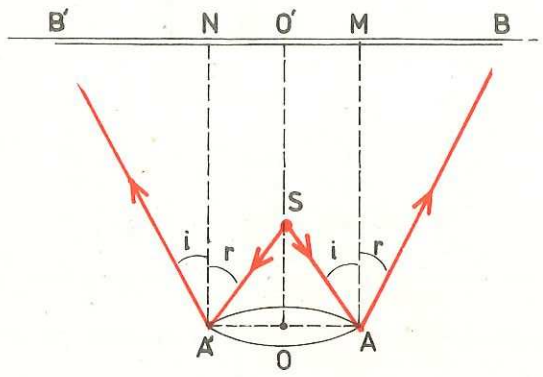
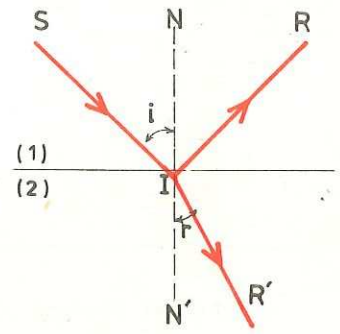


Fig. 8.20. Refracţia luminii: SI — rază incidentă, IR — rază reflectată, IR' — rază refractată, NN' — normala la suprafaţa de separare în punctul de incidenţă I, i — unghi de incidenţă, r — unghi de refracţie; (1) aer, (2) apă.



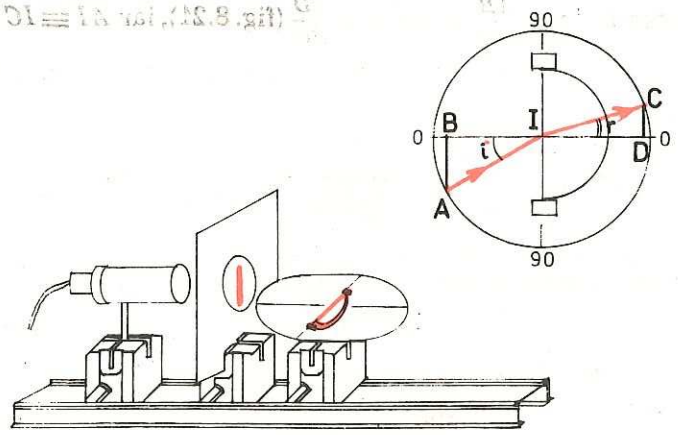


Fig. 8.21. Montaj experimental pentru verificarea legilor refracției.

E **Experimentul 5.** Realizați montajul din figura 8.21, folosind discul optic, prevăzut cu o secțiune semicilindrică din plexiglas. Modificați poziția discului în planul orizontal (înclinîndu-l) și observați raza incidentă și raza refractată. Se rotește discul împreună cu semicilindrul încît unghiul de incidență să aibă diferite valori (10°, 20°, 30°, 40°) și se măsoară valorile corespunzătoare ale unghiului de refracție. Se măsoară, de asemenea, segmentele AB și CD pentru unghiurile de incidență și de refracție obținute și se calculează rapoartele $\frac{AB}{CD}$. Rezultatele se trec în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1

i (grade)	r (grade)	AB (cm)	CD (cm)	$\frac{AB}{CD}$
10	6,7	1,81	1,20	1,50
20	13,3	3,43	2,30	1,49
30	19,6	5,00	3,35	1,49
40	25,2	6,42	4,25	1,51
50	30,7	7,62	5,06	1,50
60	35,1	8,63	5,70	1,51

În tabel, se observă că rapoartele $\frac{AB}{CD}$ sînt aproximativ aceleași pentru toate unghiurile de incidență (foarte apropiate de 1,50 pentru sticlă).

Deoarece $\sin i = \frac{AB}{AI}$ și $\sin r = \frac{CD}{IC}$ (fig. 8.21), iar $AI \equiv IC$ (raze ale aceluiași cerc), rezultă, în urma experimentului, că la trecerea luminii din aer în sticlă:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{AB}{AI}}{\frac{CD}{IC}} = \frac{AB}{CD} = \text{constant.}$$

Experimente efectuate cu diferite perechi de medii transparente au scos în evidență faptul că, pentru fiecare pereche de medii, raportul $\frac{\sin i}{\sin r}$ este constant dar diferit pentru diferite perechi.

Legile refracției sînt:

1. **Raza incidentă, raza refractată și normala sînt în același plan.**
2. **Raportul dintre sinusul unghiului de incidență și sinusul unghiului de refracție este o constantă caracteristică celor două medii străbătute de raza de lumină.**

Legile refracției au fost stabilite de W. Snell (1591—1626) și René Descartes (1596—1650).

Raportul constant $\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21}$ se numește indice de refracție relativ al mediului prin care trece raza refractată (mediul al doilea) în raport cu cel al mediului din care vine lumina incidentă (primul mediu). Indicele de refracție al oricărui mediu transparent în raport cu vidul se numește indice de refracție absolut.*

În tabelul 8.2 sînt date valorile indicilor de refracție ai unor substanțe.

Tabelul 8.2

Indicii de refracție absoluți ai unor substanțe

Aer (la 1 atm și 20°C)	1,0003	Sticlă (diferite sorturi)	1,47—1,80
Apă	1,33	Sulfură de carbon	1,63
Alcool	1,36	Diamant	2,42

Indicele de refracție absolut al unui mediu transparent poate fi definit ca raportul între viteza de propagare a luminii în vid c și viteza luminii în mediul respectiv v, adică:

$$n = \frac{c}{v}.$$

* Diferența, față de indicii de refracție în raport cu aerul, este neglijabilă.

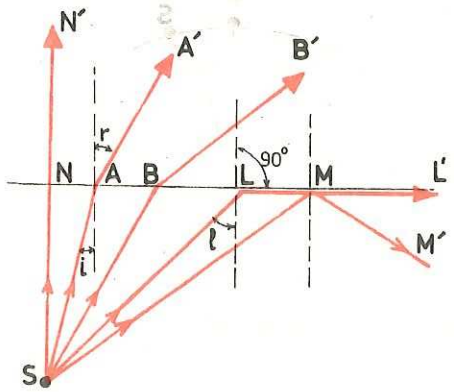


Fig. 8.22. Reflexie totală.

În aceste condiții, pentru două medii transparente de indici de refracție absoluți n_1 și n_2 avem:

$$n_1 = \frac{c}{v_1},$$

$$n_2 = \frac{c}{v_2},$$

deci $$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}.$$

Cum:

$$n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}, \quad \text{rezultă} \quad n_1 \sin i = n_2 \sin r.$$

Se spune despre un mediu că este cu atît mai refringent, cu cît are indicele de refracție mai mare. Ținînd seama de a doua lege a refracției, se poate aprecia că la trecerea luminii dintr-un mediu mai puțin refringent într-un mediu mai refringent, raza refractată se apropie de normală și invers.

Dacă se consideră că o rază de lumină trece dintr-un mediu mai refringent (apă) într-un mediu mai puțin refringent (aer), unghiul de refracție este mai mare decît unghiul de incidență și se poate ajunge la situația cînd pentru o anumită valoare a unghiului de incidență, numit unghi limită (l), unghiul de refracție devine 90°. La valori ale unghiului de incidență peste valoarea unghiului limită, raza incidentă SM se reflectă total în mediul din care a venit (apă), fenomenul numindu-se *reflexie totală* (fig. 8.22).

Legea a doua a refracției, pentru reflexia totală, ne dă:

$$\frac{\sin l}{\sin 90°} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{adică} \quad \sin l = \frac{n_2}{n_1}.$$

Folosind această relație, putem calcula unghiul limită al apei ($n_1 = 1{,}33$) față de aer ($n_2 = 1$):

$$\sin l = \frac{1}{1{,}33} = 0{,}75, \quad \text{deci} \quad l = 49°.$$

Calculați unghiul limită al sticlei ($n = 1{,}5$) față de aer.

Refracția și reflexia totală sînt întîlnite foarte des în natură și în tehnică. Astfel, cu ajutorul legilor refracției luminii putem explica de ce aștrii cerești se observă mai sus decît sînt în realitate pe bolta cerească (refracție atmosferică, fig. 8.23), de ce o linguriță introdusă într-un pahar cu apă pare frîntă la

suprafața de separare (fig. 8.24) sau de ce un corp aflat în apă este observat mai aproape de suprafața apei decît este în realitate (fig. 8.25). Reflexia totală explică fenomenul numit miraj (fig. 8.26): privind în zilele călduroase de vară un obiect (un pom) aflat pe un drum drept, îl vom vedea răsturnat, ca și cînd ar fi imaginea obiectului respectiv pe suprafața unei ape. Fenomenul se datorește încălzirii straturilor de aer

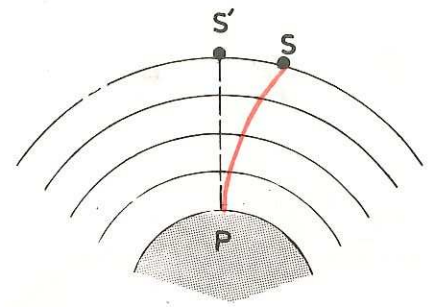


Fig. 8.23. Refracția atmosferică.

Fig. 8.24. Linguriţa pare frîntă, în locul în care intră în apă.

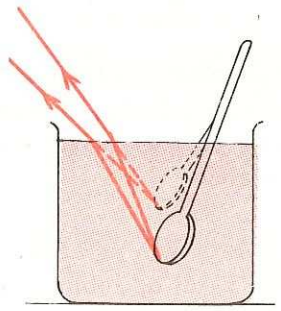
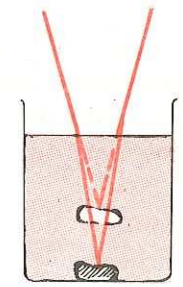


Fig. 8.25. Corpul aflat în apă este observat mai aproape de suprafaţa apei.



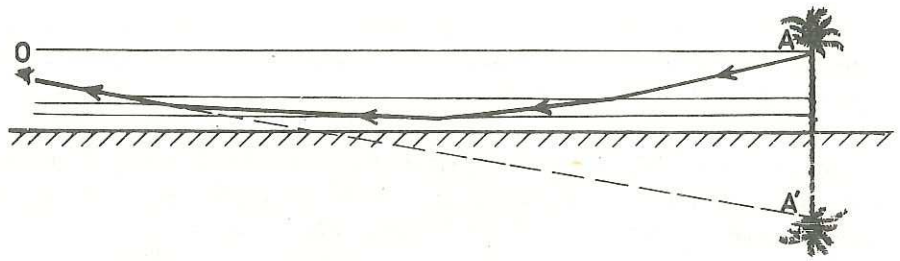


Fig. 8.26. Mirajul.

de la suprafața pămîntului, încît indicii lor de refracție devin mai mici decît cei ai straturilor de aer superioare. Fîntînile luminoase (fig. 8.27) sînt aplicații ale fenomenului de reflexie totală. Lumina provenită de la sursa S trece printr-un filtru F (sticlă de o anumită culoare), iar razele de lumină colorate suferă mai multe reflexii totale în vîna de lichid, astfel încît jetul de apă „conduce" lumina dintr-un punct într-altul.

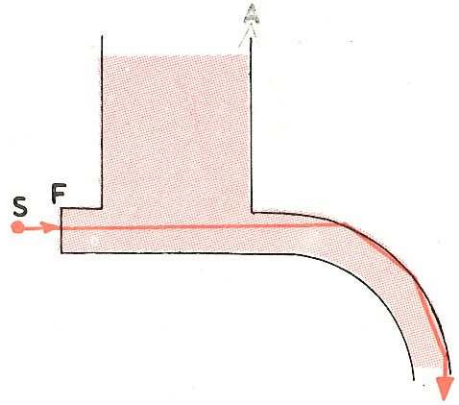


Fig. 8.27. Principiul de funcţionare a unei fîntîni luminoase.

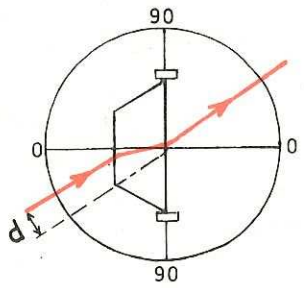


Fig. 8.28. Lama cu feţe plane şi paralele.

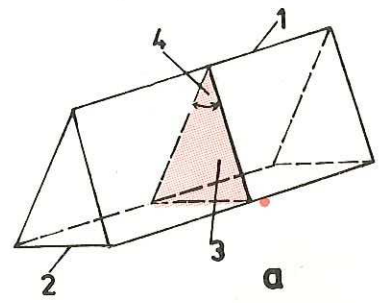
8.3.2. **Lama cu feţe plane şi paralele.** Lama cu feţe plane şi paralele este un mediu transparent şi omogen limitat prin două suprafeţe plane şi paralele. Un paralelipiped de sticlă sau un vas paralelipipedic umplut cu un lichid transparent pot constitui lame cu feţe plane şi paralele.

E **Experimentul 6.** Montaţi pe discul optic lama cu feţe plan paralele, aşezînd-o perpendicular pe direcţia de propagare a razei de lumină. Veţi constata că raza trece nedeviată. Rotiţi discul, încît latura lamei să fie înclinată faţă de raza de lumină. Observaţi razele de lumină care intră şi ies din lamă, precum şi cele din interiorul acesteia (fig. 8.28).

Concluzii. 1. *Raza de lumină se refractă de două ori, o dată la intrarea în lamă şi a doua oară la ieşire.* 2. *Raza incidentă şi raza care iese din lamă (rază emergentă) sînt paralele.*

Dacă se privesc diferite obiecte printr-o lamă cu feţele plane şi paralele, ele vor apărea deplasate. Deplasarea d, pentru un unghi de incidenţă dat, depinde de grosimea şi de indicele de refracţie ale lamei.

8.3.3. **Prisma optică.** Este un mediu transparent şi omogen limitat de două suprafeţe plane neparalele. Dreapta după care se intersectează aceste suprafeţe este numită *muchia prismei*, iar unghiul diedru A format de ele se numeşte *unghiul prismei*. Orice secţiune a prismei printr-un plan perpendicular pe muchia ei se numeşte secţiune principală (fig. 8.29, *a*). Baza prismei este faţa opusă muchiei. Prisma optică se reprezintă schematic printr-o secţiune principală (fig. 8.29, *b*).



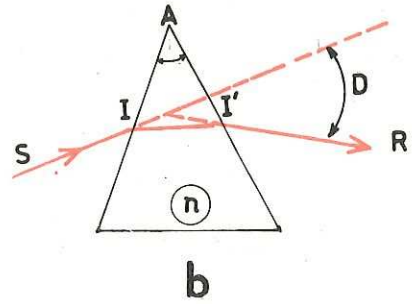


Fig. 8.29. *a)* Prisma optică:
(1) muchia prismei, (2) baza prismei, (3) secţiune principală, (4) unghiul prismei;
b) mersul unei raze de lumină monocromatică într-o secţiune principală a prismei.

E **Experimentul 7.** Montaţi pe discul optic o secţiune de prismă la 45° din stiplex. În faţa lămpii se aşază un filtru, pentru ca la prismă să ajungă lumină de o singură culoare (lumină monocromatică). Raza de lumină ajunge la una din feţele prismei sub un unghi ascuţit, trece prin ea şi iese din nou în aer.

Se observă producerea a două refracţii (fig. 8.30). Raza incidentă suferă o primă refracţie la intrarea în prismă şi o a doua la ieşire. Raza care părăseşte prisma o numim rază emergentă. Unghiul i se numeşte unghi de incidenţă, iar unghiul i' unghi de emergenţă. Unghiul format de raza incidentă cu raza emergentă se numeşte unghi de deviaţie D.

Valoarea unghiului de deviaţie este dată de relaţia:

$$D = i + i' - A.$$

Folosind montajul experimental din experimentul 7, verificaţi această relaţie pentru diferite valori ale unghiului de incidenţă, măsurînd unghiurile i, i' şi D, ştiind că $\hat{A} = 45°$ pentru prisma cu care se experimentează.

Unghiul de deviaţie are valoarea minimă cînd unghiul de emergenţă este egal cu unghiul de incidenţă, raza refractată fiind paralelă cu baza prismei (fig. 8.31).

În construcţia instrumentelor optice sînt folosite prismele cu reflexie totală. Acestea sînt prisme a căror secţiune principală este un triunghi dreptunghic isoscel (fig. 8.32, *a* şi *b*). O rază incidentă normală pe faţa AB ajunge la faţa BC sub unghi

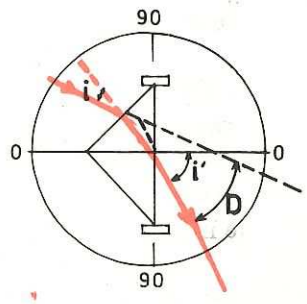


Fig. 8.30. Pentru experimentul 7.

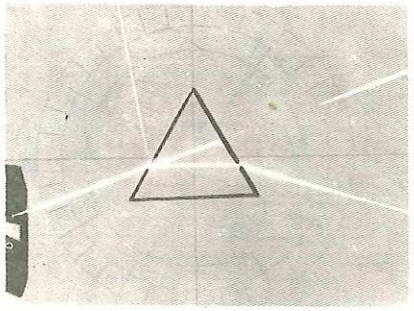


Fig. 8.31. Mersul cu deviație minimă al unei raze de lumină printr-o prismă.

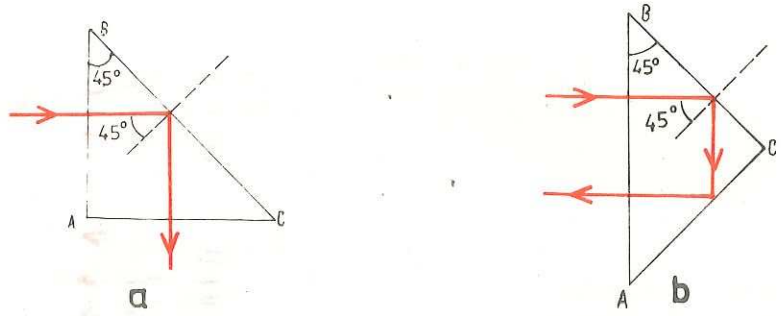


Fig. 8.32. Prisme cu reflexie totală.

de 45°, superior unghiului limită (care la sticlă este 42°) și se reflectă total. Asemenea prisme sînt folosite în construcția periscopului sau a binoclului cu prisme.

8.3.4. **Lentile.** Lentilele sînt sisteme optice alcătuite dintr-un mediu transparent și omogen limitat de două fețe sferice sau de o față sferică și una plană.

Elementele unei lentile (fig. 8.33) sînt:

— *centrele de curbură* C_1 și C_2 sînt centrele sferelor din care fac parte cele două fețe;

— *razele de curbură* R_1 și R_2 sînt razele sferelor din care fac parte cele două fețe;

— *axa optică principală* este dreapta ce trece prin cele două centre de curbură;

— *centrul optic O* este punctul situat la intersecția lentilei cu axa optică principală;

— *focarele principale* sînt două puncte situate pe axa optică principală, la egală depărtare de centrul ei optic.

Lentilele sînt de două tipuri:

— *lentile convergente* (mai groase la mijloc decît la margini și au aspectul din figura 8.34, *a*). Ele se numesc convergente deoarece transformă un fascicul de raze paralele cu axa optică principală într-un fascicul convergent (fig. 8.34, *c*);

Fig. 8.33. Elementele unei lentile.

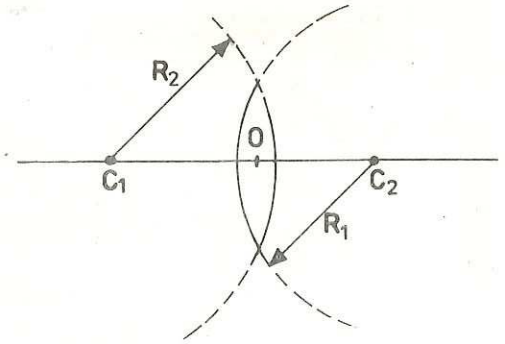


Fig. 8.34. Tipuri de lentile:
a) lentile convergente; *b)* lentile divergente; *c)* focarele lentilelor.

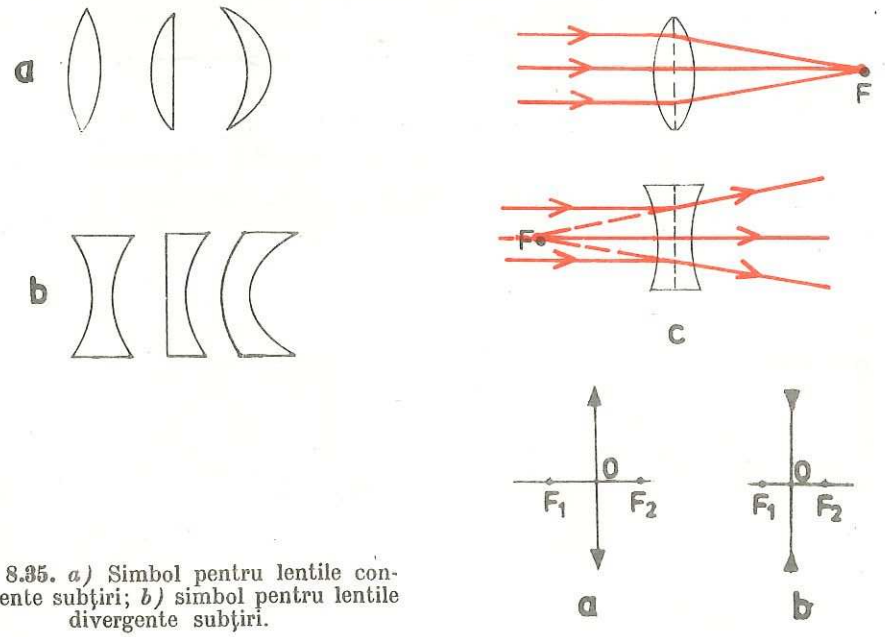


Fig. 8.35. *a)* Simbol pentru lentile convergente subțiri; *b)* simbol pentru lentile divergente subțiri.

— *lentile divergente* (mai subțiri la mijloc decît la margini și au aspectul din figura 8.34, *b*). Un fascicul de raze paralele cu axa optică principală devine divergent, după refracția printr-o astfel de lentilă (fig. 8.34, *c*).

Dacă grosimea lentilelor, măsurată pe axa optică principală, este foarte mică în comparație cu razele de curbură, spunem că lentilele sînt subțiri. Lentilele subțiri se prezintă schematic ca în figura 8.35, *a* și *b*.

E **Experimentul 8.** Montați pe bancul optic: lampa, fanta F, lentila convergentă pe care este scris $F + 120$ și un ecran (fig. 8.36). Așezați suportul cu fanta F la o distanță de lentilă mai mare decît dublul distanței focale. Deplasați suportul cu ecranul pînă cînd pe ecran apare imaginea clară a fantei F (pe fantă se așază o hîrtie de calc pentru a uniformiza iluminarea).

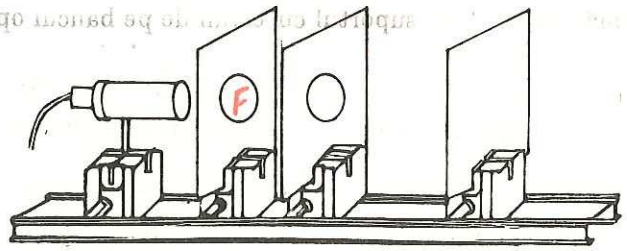
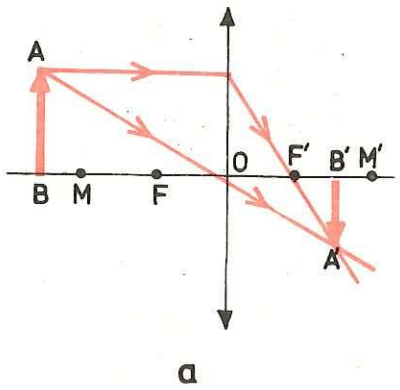


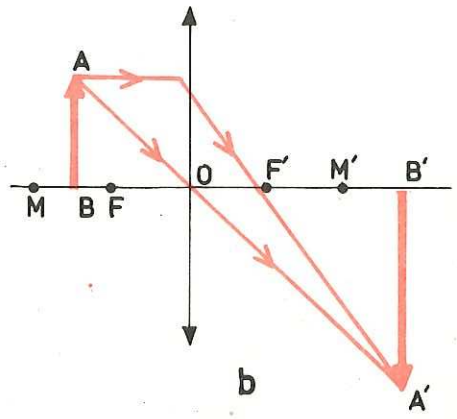
Fig. 8.36. Montaj experimental pentru studiul imaginilor în lentile.

Veţi constata că imaginea este reală, răsturnată şi mai mică decıt obiectul.

Construcţia geometrică a acestei imagini o puteţi realiza ţinînd seama de legile refracţiei. Pentru aceasta sînt necesare două raze: o rază care trece prin centrul optic şi traversează lentila fără să fie deviată şi alta paralelă cu axa optică principală, care după refracţie trece prin focarul principal (fig. 8.37, *a*).

Dacă în experimentul 8 aşezaţi suportul cu fantă la o distanţă de lentilă cuprinsă între f şi $2f$, veţi observa o imagine reală, răsturnată şi mai mare decît obiectul (fig. 8.37, *b*). Dacă suportul cu fantă se va afla între focar şi





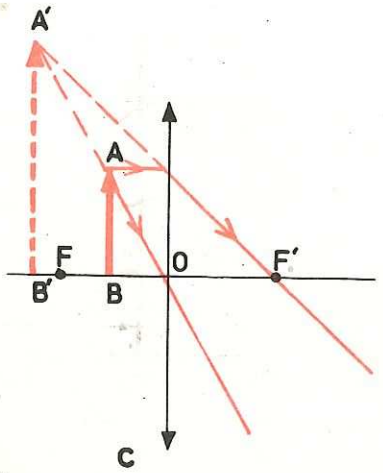


Fig. 8.37. Construcţia geometrică a imaginilor date de o lentilă convergentă pentru diferite poziţii ale obiectului.

lentilă, imaginea va fi virtuală, dreaptă şi mai mare decît obiectul (fig. 8.37, *c*). În acest din urmă caz, scoateţi suportul cu ecran de pe bancul optic şi priviţi prin lentilă.

Construiţi imaginea şi verificaţi experimental caracteristicile ei, cînd obiectul este situat la dublul distanţei focale şi în planul focal al lentilei convergente.

Pentru observarea obiectelor mici, se foloseşte lupa. Lupa este o lentilă convergentă de distanţă focală mică (2 la 10 cm). Obiectul se aşază între lupă şi planul focal, obţinîndu-se o imagine virtuală, dreaptă şi mai mare decît obiectul (fig. 8.37, *c*).

E **Experimentul 9.** Înlocuiţi în montajul de la experimentul nr. 8 lentila convergentă cu o lentilă divergentă. Se scoate ecranul şi se priveşte prin lentilă.

Veţi constata că imaginea fantei, în lentila divergentă, este virtuală, dreaptă şi mai mică decît obiectul, indiferent de poziţia fantei faţă de lentilă (fig. 8.38).

Să construim imaginea unui obiect AB într-o lentilă convergentă (fig. 8.39). Vom trasa în plus o rază ce trece prin focar şi care după refracţie devine paralelă cu axa principală.

Din asemănarea triunghiurilor ABF şi FOI' rezultă că $\frac{AB}{A'B'} = \frac{d}{f}$, ($OI' \equiv A'B'$), iar din asemănarea triunghiurilor IOF' şi $F'A'B'$ rezultă că $\frac{AB}{A'B'} = \frac{f}{d'}$ ($OI \equiv AB$). Ţinînd seama de ambele relaţii, se obţine

$$dd' = f^2,$$

egalitate care reprezintă legea lentilelor.

Fig. 8.38. Construcţia geometrică a imaginii date de o lentilă divergentă.

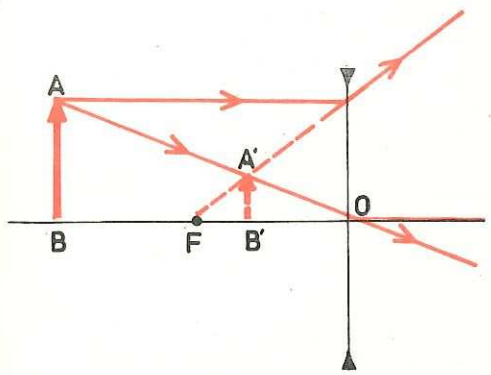
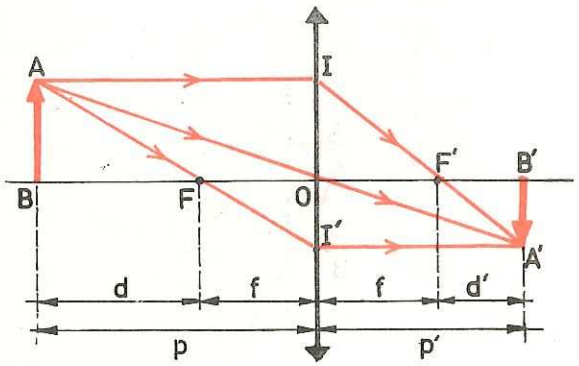


Fig. 8.39. Pentru demonstrarea legii lentilelor.



Produsul distanțelor de la obiect la focar și de la imagine la focar este egal cu pătratul distanței focale a lentilei.

Dar $d = p - f$ și $d' = p' - f$, deci

$$(p - f)(p' - f) = f^2 \text{ sau } pp' - pf - p'f + f^2 = f^2,$$

din care, împărțind cu $pp'f$, se obține:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

La aplicarea acestei relații trebuie ținut cont de următoarea convenție:

p se ia pozitivă (obiectul fiind real)

p' { pozitivă, dacă imaginea este reală
negativă, dacă imaginea este virtuală

f { pozitivă, dacă focarul este real (lentilă convergentă)
negativă, dacă focarul este virtual (lentilă divergentă)

$\frac{1}{f}$ se mai numește convergența lentilei și se măsoară în *dioptrii*.

O dioptrie este convergența unei lentile cu distanța focală de 1 m.

E **Experimentul 10.** Realizați montajul de la experimentul 8, folosind suportul cu lentila convergentă $F + 120$. Pentru diferite poziții ale suportului cu lentilă, obțineți pe ecran imagini ale fantei. Măsurați distanțele: obiect-lentilă p și imagine-lentilă p'. Treceți rezultatele în tabelul 8.3.

Tabelul 8.3

Nr. determinării	Distanța obiect-lentilă p(cm)	Distanța imagine-lentilă p'(cm)	Distanța focală f(cm)	Distanța obiect-focar $d = p - f$	Distanța imagine-focar $d' = p' - f$	$d \cdot d'$ (cm²)	f^2 (cm²)
1	15	36	12	6	24	144	144
2	21	28	12	9	16	144	144
3	24	24	12	12	12	144	144
4	28	21	12	16	9	144	144

Analizînd datele din tabel, puteți remarca egalitatea rezultatelor din ultimele două coloane:

$$d \cdot d' = f^2.$$

Probleme rezolvate

1. Un obiect este situat la 20 cm depărtare de o lentilă convergentă, care are distanța focală de 12 cm. Determinați poziția și natura imaginii acelui obiect.

Rezolvare. Cunoscînd distanța focală $f = 12$ cm și distanța obiect-lentilă $p = 20$ cm, se poate determina distanța imagine-lentilă, aplicînd legea lentilelor:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}, \text{ de unde } \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{30}; \; p' = 30 \text{ cm}.$$

Imaginea este reală ($p' > 0$) și situată la 30 cm de lentilă.

2. O lentilă divergentă are distanța focală de 30 cm. La ce depărtare de lentilă trebuie așezat un obiect, pentru ca imaginea lui virtuală să se formeze la distanța de 10 cm de lentilă?

Rezolvare. Aplicăm legea lentilelor, cu $f = -30$ cm (focar virtual) și $p' = -10$ cm (imagine virtuală):

$$-\frac{1}{30} = \frac{1}{p} - \frac{1}{10}, \text{ de unde } \frac{1}{p} = -\frac{1}{30} + \frac{1}{10} = \frac{1}{15} \text{ și } p = 15 \text{ cm}.$$

8.4. Dispersia luminii

Lumina primită de la Soare sau de la un bec electric poartă numele de lumină albă.

E **Experimentul 11.** Montați pe discul optic (fig. 8.21) o secțiune de prismă și trimiteți cu ajutorul lămpii de proiecție un fascicul de lumină albă, care să ajungă pe partea superioară a prismei, încît o parte din el să se refracte în prismă. Pe un ecran așezat în spatele prismei, veți observa o pată luminoasă corespunzătoare porțiunii din fascicul care nu a trecut prin prisma optică și o bandă luminoasă colorată diferit de la roșu la violet (fig. 8.40).

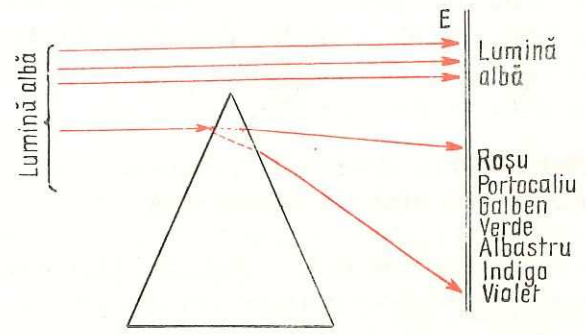


Fig. 8.40. Dispersia luminii.

Se disting, exceptînd nuanţele, şapte culori principale, în ordinea creşterii deviaţiei: roşu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo şi violet (culorile curcubeului). Culorile corespund unor radiaţii numite radiaţii simple sau monocromatice.

Fenomenul de descompunere prin refracţie a luminii albe în radiaţii monocromatice componente se numeşte dispersia luminii.

Radiaţiile monocromatice observate pe ecran alcătuiesc spectrul luminii albe.

Se constată că pentru acelaşi unghi de incidenţă a luminii albe, radiaţiile monocromatice ies din prismă sub unghiuri diferite. Aceasta se explică prin faptul că indicele de refracţie al sticlei din care este confecţionată prisma este diferit pentru diferite radiaţii monocromatice (creşte de la radiaţia roşie la radiaţia violet).

În natură, se observă descompunerea luminii albe în fascicule colorate, cînd lumina solară este refractată de picăturile de apă din atmosferă, fapt care explică formarea curcubeului.

Dispersia luminii în prisma optică poate fi urmărită în planşa de la sfîrşitul manualului.

8.5. Culoarea corpurilor

V-aţi pus vreodată întrebarea: de ce frunzele copacilor ne apar verzi, cravata pionierului roşie, foile caietului albe, tabla din clasă neagră?

E **Experimentul 12.** Aşezaţi în faţa lămpii de proiecţie, care emite lumină albă, o bucată de sticlă roşie (un filtru). Veţi constata că prin sticlă trec numai radiaţiile roşii. Dacă bucata de sticlă are altă culoare, prin ea vor trece numai radiaţiile de culoarea respectivă.

Culoarea corpurilor transparente este determinată de radiaţiile monocromatice care pot trece prin ele, celelalte fiind absorbite. Pe acest principiu se bazează folosirea aşa-numitelor filtre de culori în tehnica fotografică, la reflectoarele din sălile de spectacol etc.

E **Experimentul 13.** Proiectaţi pe un ecran spectrul luminii albe şi aşezaţi pe ecran o bucată de hîrtie de culoare roşie.

Veţi observa că în regiunea roşie a spectrului hîrtia apare viu colorată, iar în celelalte regiuni apare întunecată, ceea ce înseamnă că din toate radiaţiile care cad pe hîrtie, aceasta reflectă numai pe cele roşii, iar pe celelalte le absoarbe. Culoarea corpurilor opace este determinată de radiaţiile monocromatice pe care le reflectă.

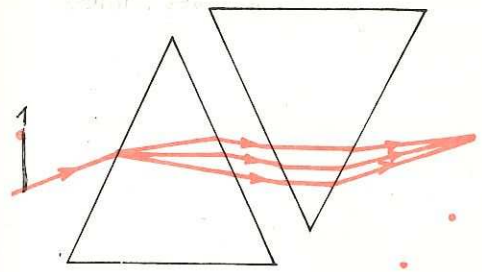


Fig. 8.41. Sistem acromatic format din două prisme optice (1 — lumină albă).

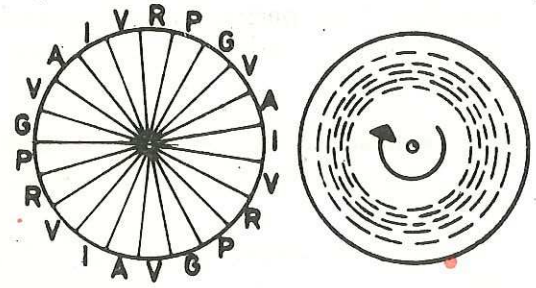


Fig. 8.42. Discul lui Newton.

Corpurile negre absorb toate radiaţiile care cad pe ele, iar corpurile albe reflectă toate radiaţiile incidente.

Dacă un corp colorat este iluminat cu radiaţii de altă culoare decît culoarea sa, el va apărea negru. Explicaţi de ce.

Fenomenul invers dispersiei şi anume de obţinere a luminii albe din culorile ei componente se numeşte compunerea (sinteza) luminii. Compunerea luminii se poate realiza cu ajutorul unui sistem de două prisme optice identice, aşezate foarte apropiat, ca în figura 8.41. Sistemul acesta de două prisme, dintre care una descompune lumina albă, iar cea de-a doua face să dispară spectrul se numeşte sistem acromatic. Un mijloc mai simplu de compunere a luminii albe îl constituie discul lui Newton. Acesta este un disc prevăzut cu sectoare colorate în ordinea culorilor principale ale spectrului (fig. 8.42).

E **Experimentul 14.** Cuplaţi discul lui Newton la maşina centrifugă şi stabiliţi turaţia maşinii astfel încît o rotaţie a discului să se facă în mai puţin de 0,1 s (pentru ca ochiul să nu mai poată distinge separat fiecare culoare în parte).

Discul ne apare colorat în alb-cenuşiu. Albul obţinut nu este pur, deoarece culorile utilizate sînt în număr restrîns, în raport cu numărul mare de nuanţe oferit de un spectru real.

Pentru obţinerea luminii albe nu este însă nevoie să suprapunem toate culorile spectrului ci mai puţine, chiar numai două. Astfel, dacă colorăm discul lui Newton jumătate în roşu şi jumătate în verde, învîrtindu-l repede, el ne apare colorat în alb.

Culorile care, suprapuse două cîte două, dau culoarea albă, se numesc culori complementare.

Referindu-ne la spectrul luminii albe, există următoarele culori complementare: roşu cu verde, portocaliu cu albastru, galben cu indigo.

8.6. Instrumente optice

Instrumentele optice servesc la obținerea de imagini ale obiectelor, construcția lor avînd la bază fenomenele de reflexie și refracție a luminii. După natura imaginilor, instrumentele optice sînt de două feluri:

— instrumente care dau imagini reale (ochiul, aparatul fotografic, aparatul de proiecție); aceste imagini pot fi proiectate pe un ecran sau prinse pe o placă sau pe un film fotografic;

— instrumente care dau imagini virtuale (microscopul, luneta); aceste instrumente sînt folosite pentru examinarea directă, cu ochiul, a obiectelor.

8.6.1. **Ochiul.** În figura 8.43, *a* este prezentată o secțiune printr-un ochi omenesc. Din punct de vedere optic, ochiul omenesc este un sistem optic format din trei medii transparente: umoarea apoasă ($n = 1{,}33$), cristalinul ($n = 1{,}4$) și umoarea sticloasă ($n = 1{,}33$). În fața cristalinului, care se comportă ca o lentilă convergentă, se află irisul, prevăzut cu o mică diafragmă, pupila. Din punct de vedere optic, imaginea se formează pe retină. Ramificațiile nervului optic se termină în retină; acesta preia imaginile vizuale și le transmite la creier. Distanța de la centrul optic al cristalinului la retină este de circa 15 mm. Un obiect se va vedea clar, dacă imaginea se formează pe porțiunea de retină numită pata galbenă, situată în apropierea axei optice. Imaginea este reală, răsturnată și micșorată. După formarea imaginii pe retină, influxul nervos este condus la creier, unde iau naștere senzațiile de văz. Pe retină, imaginea este răsturnată și totuși noi vedem obiectele în poziția lor normală, deoarece imaginea se transmite scoarței cerebrale, care analizează și apreciază adevărata poziție a obiectelor în spațiu.

Obiectul poate fi situat la diferite distanțe față de ochi. Pentru ca imaginea să se formeze pe retină, este deci necesară modificarea distanței focale a cristalinului. Această proprietate a cristalinului de a-și modifica distanța focală este numită acomodare. Punctul cel mai apropiat de ochi în care putem distinge clar un obiect, cu maximum de acomodare, se numește *punctum proximum*. Distanța dintre ochi și punctum proximum variază pentru ochiul normal de la 10 cm (pentru tineri) la 15 cm (pentru persoanele în vîrstă). Punctul cel mai îndepărtat în care ochiul vede distinct un obiect, fără acomodare, se numește *punctum remotum;* acest punct este situat la infinit, pentru ochiul normal. În mod normal ochiul distinge cele mai multe detalii la o distanță de aproximativ 25 cm (distanța vederii optime). La această distanță, două puncte se văd separat, dacă sînt situate la cel puțin 0,15 mm unul de altul.

Defectele de vedere se corectează cu ajutorul ochelarilor.

Principalele defecte de vedere sînt:

Miopia. Ochiul miop are punctum proximum la o distanță mai mică decît cea normală, imaginea punctelor de la infinit formîndu-se în fața retinei

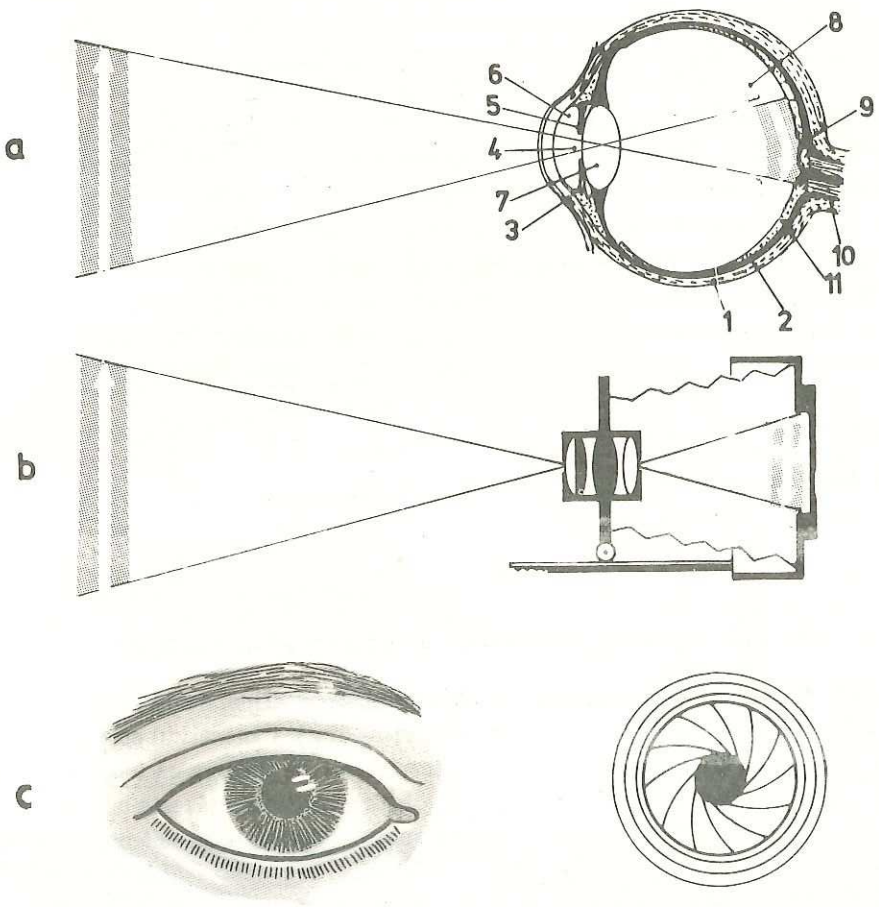


Fig. 8.43. *a)* Formarea imaginii și secțiune în ochiul omenesc:
(1) sclerotica, (2) coroida, (3) corneea ($n = 1{,}33$), (4) pupila, (5) irisul, (6) umoarea apoasă ($n = 1{,}33$), (7) cristalinul ($n = 1{,}4$), (8) umoarea sticloasă ($n = 1{,}33$), (9) pata galbenă, (10) nervul optic, (11) retina; *b)* formarea imaginii în aparatul fotografic; *c)* comparația între pupilă și diafragmă.

(fig. 8.44, *a*). Miopia se corectează cu ajutorul ochelarilor cu lentile divergente (fig. 8.44, *b*).

Hipermetropia. Ochiul hipermetrop are punctum proximum la o distanță mai mare decît cea normală și nu vede distinct obiectele apropiate. Imaginea se formează în spatele retinei (fig. 8.45, *a*). Același defect apare la persoanele în vîrstă, datorită scăderii capacității de acomodare a cristalinului, în acest caz numindu-se prezbitism. Hipermetropia (prezbitismul) se corectează cu ajutorul ochelarilor cu lentile convergente (fig. 8.45, *b*).

8.6.2. **Aparatul fotografic** este un instrument optic care formează, pe o placă fotografică sau pe un film, imaginea reală a unui obiect. Piesele principale ale aparatului fotografic sînt obiectivul și camera obscură (fig. 8.43, *b*). Obiectivul este alcătuit din mai multe lentile și se comportă ca o lentilă con-

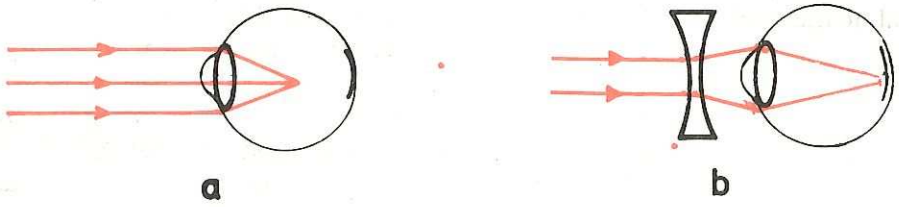


Fig. 8.44. *a)* Ochiul miop; *b)* corectarea miopiei.

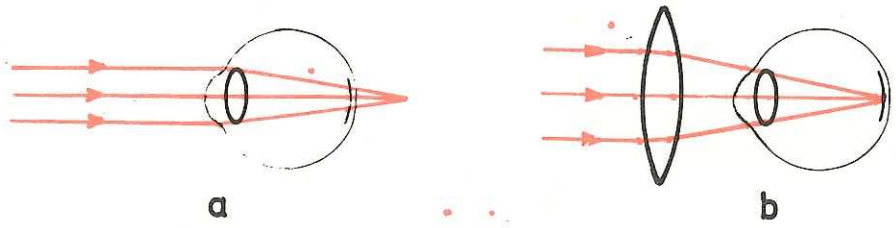


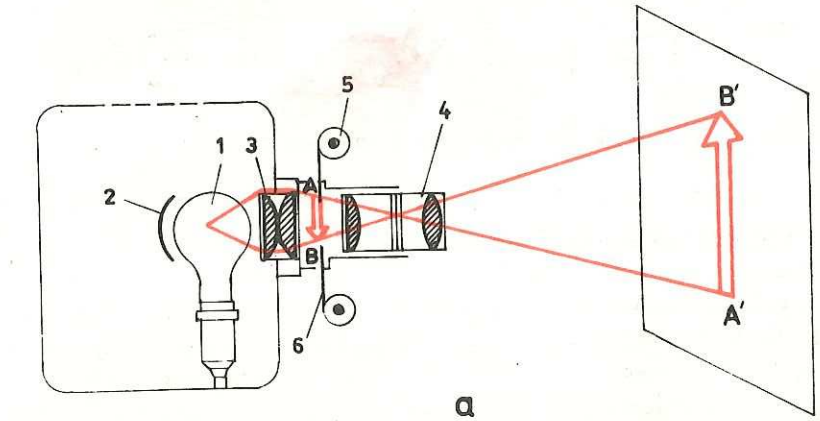
Fig. 8.45. *a)* Ochiul hipermetrop; *b)* corectarea hipermetropiei.

vergentă. Există o mare varietate de obiective fotografice, după scopul aparatului (obiective universale, de portret, de peisaj etc.). Obiectivul este prevăzut cu un dispozitiv automat, numit obturator, care lasă lumina să treacă numai atunci cînd aparatul funcţionează. În faţa obturatorului se găseşte o diafragmă cu diametrul reglabil, care lasă să treacă numai atîta lumină, cît este necesar pentru obţinerea unei imagini clare. Diafragma are acelaşi rol ca şi pupila (fig. 8.43, *c*). Obiectivul poate fi deplasat astfel încît, variind distanţa dintre el şi filmul aşezat la celălalt capăt al camerei obscure, imaginea să se formeze exact pe film. Această operaţie se numeşte punere la punct a aparatului. După efectuarea acestei operaţii, obturatorul se deschide un interval de timp (numit timp de expunere) şi se realizează fotografierea. Formarea imaginii se bazează pe fenomenul de refracţie (ca şi la lentile). Se vor forma imagini reale, răsturnate şi mai mici decît obiectul.

Imaginea de pe film se face vizibilă printr-o operaţie numită *developare*, care se execută la lumină roşie pentru a nu fi impresionat filmul. Developarea constă în tratarea filmului cu o soluţie de pirogalol sau hidrochinonă, numită revelator, care reduce sarea de argint (AgCl sau AgBr) existentă pe film, numai în părţile unde a fost atinsă de lumină (o înnegreşte în acele părţi, datorită precipitării argintului). Se obţine astfel negativul fotografiei, pe care părţile luminoase apar negre. Se impresionează apoi negativul şi se obţine pozitivul sau fotografia propriu-zisă.

8.6.3. **Aparatul de proiecţie** este folosit la proiectarea pe un ecran a imaginilor reale şi mărite ale unor desene, fotografii sau filme. Pentru obţinerea unei imagini clare este necesar ca obiectul să fie iluminat intens. Aparatul

de proiecţie (fig. 8.46, *a*) are un dispozitiv de iluminat şi un obiectiv. Dispozitivul de iluminat este format dintr-o sursă de lumină *(1)* aşezată în focarul unei oglinzi concave *(2)* şi o asociaţie de lentile plan convexe, numită condensor *(3)*, care concentrează lumina sursei asupra obiectului de proiectat. Obiectivul *(4)* este alcătuit din mai multe lentile convergente, care formează pe un ecran o imagine $A'B'$ reală, răsturnată şi mai mare decît obiectul AB. Dacă obiectul este transparent (diafilm, diapozitiv), proiecţia se numeşte diascopică, iar aparatul *diascop*. Dacă obiectul de proiectat nu este transparent, proiecţia se numeşte episcopică, iar aparatul *episcop*. În acest caz, obiectul de proiectat se aşază orizontal şi este iluminat prin reflexie de o sursă luminoasă intensă. Aparatul care se poate folosi atît pentru proiecţie diascopică, cît şi pentru proiecţie episcopică, se numeşte *epidiascop* (fig. 8.46, *b*).



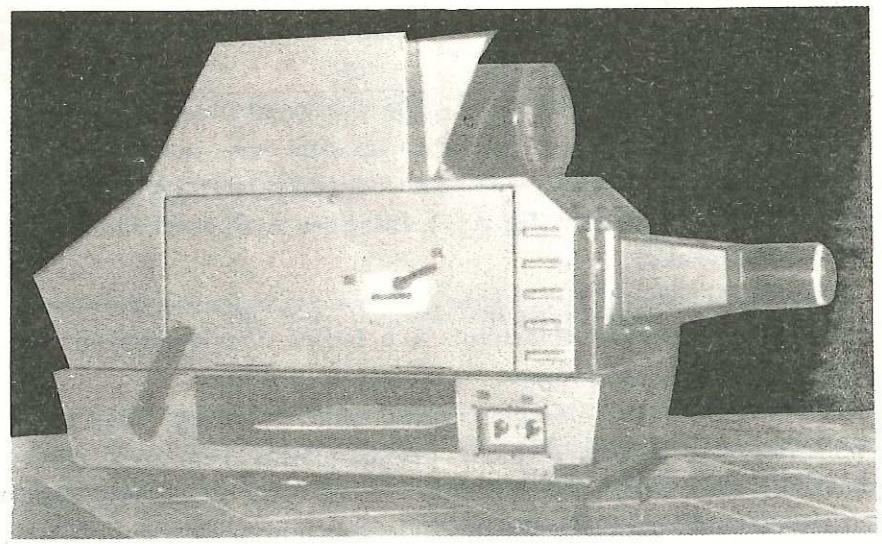


Fig. 8.46. *a)* Aparatul de proiecţie — diascop:
(1) bec electric, (2) oglindă concavă, (3) condensor, (4) obiectiv, (5) rolă, (6) diafilm; *b)* epidiascop.

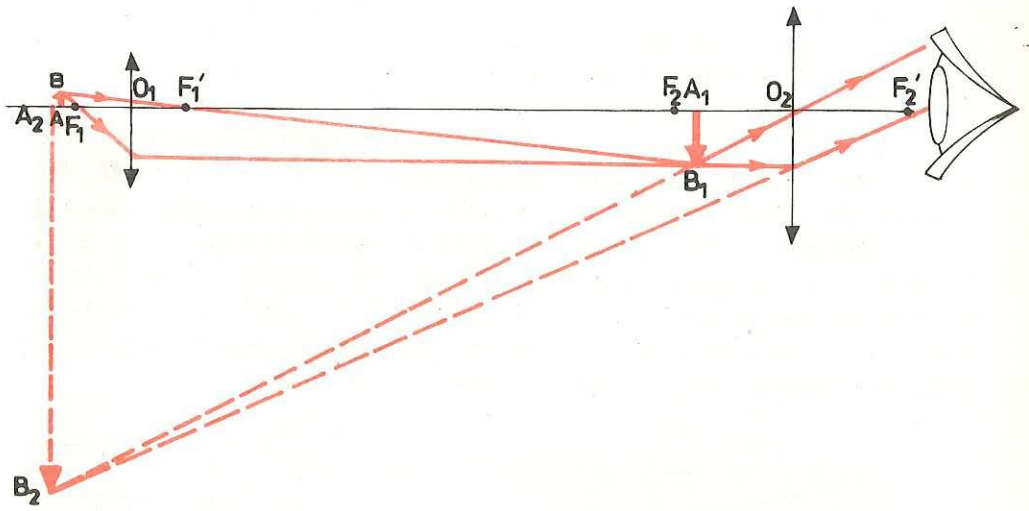


Fig. 8.47. Formarea imaginii în microscopul optic.

Proiecția diascopică este folosită și în cinematografie. Astfel, cu ajutorul aparatului de proiecție cinematografică, se proiectează pe un ecran 15—25 imagini pe secundă (fotografii succesive ale fazei unei scene) și se întrerupe lumina tot de atîtea ori. Datorită persistenței imaginilor pe retină, ochiul nu percepe imagini singulare, ci o imagine continuă, care reproduce mișcarea obiectului.

8.6.4. **Microscopul** este un instrument optic cu care se pot observa obiecte sau detalii ale obiectelor ale căror dimensiuni sînt mai mici decît cele ce pot fi observate cu lupa.

Microscopul are două părți principale: obiectivul și ocularul. Obiectivul, partea îndreptată către obiect, formează imagini reale, iar ocularul, partea îndreptată către ochi, formează o imagine virtuală și mărită (A_2B_2) a imaginii reale (A_1B_1) dată de obiectiv (fig. 8.47). Imaginea A_1B_1 constituie obiect real pentru lentila ocular.

Obiectivul și ocularul sînt alcătuite din mai multe lentile, dar pentru simplificare putem considera obiectivul ca o lentilă convergentă cu distanța focală de cîțiva mm, iar ocularul funcționează ca o lupă.

În figura 8.48 puteți observa aspectul unui microscop. Obiectul supus observării se așază pe o piesă plană numită platină, care are o deschidere circulară în centru. Iluminarea obiectului se face, prin deschiderea prevăzută în platină, către obiect. Platina se poate deplasa pe verticală cu ajutorul unui șurub. Pentru o observație microscopică, trebuie reglată iluminarea și trebuie deplasată platina microscopului, avînd obiectul așezat pe ea, pînă cînd prin ocular se observă imaginea obiectului de studiat. Dacă se mărește convenabil

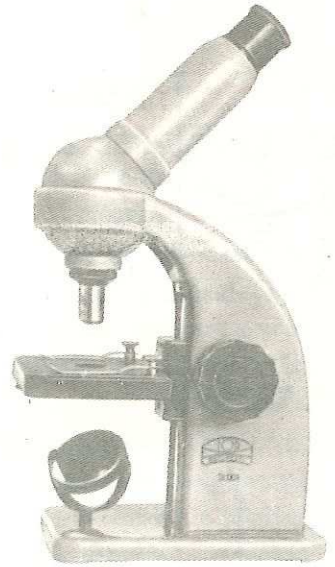


Fig. 8.48. Microscopul.

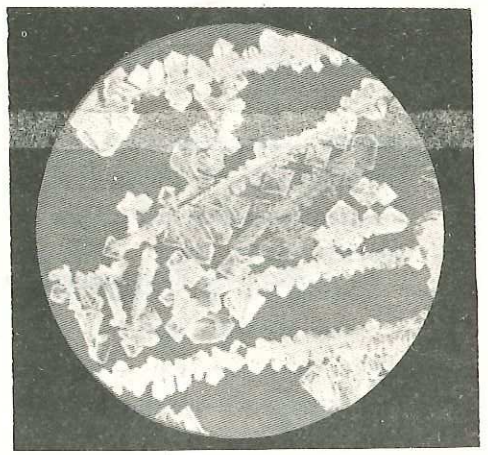


Fig. 8.50. Microfotografie — cristale de clorat de potasiu.

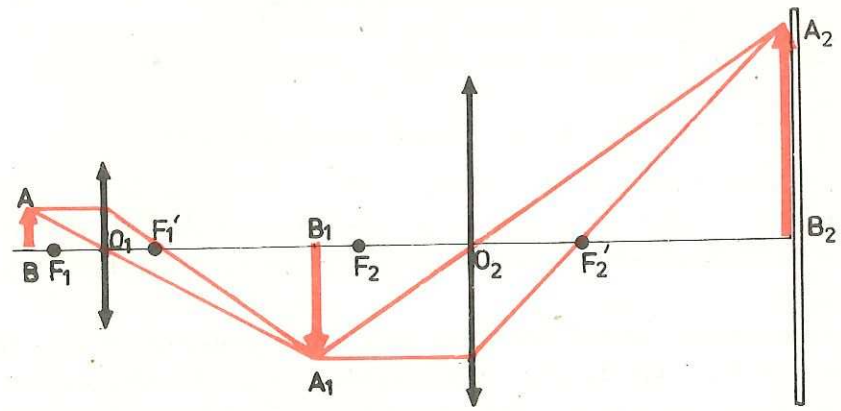


Fig. 8.49. Obținerea microfotografiilor.

distanța între ocular și obiectiv, imaginea A_1B_1 se formează înaintea focarului ocularului, iar ocularul poate proiecta pe o placă fotografică imaginea reală A_2B_2 a lui A_1B_1 (fig. 8.49), obținîndu-se astfel o microfotografie (fig. 8.50).

Calitatea unui microscop este apreciată după *puterea separatoare* a acestuia, adică după cea mai mică distanță dintre două puncte ale unui obiect, care apar distincte în imaginea finală. Distanța minimă între două puncte ale unui obiect, observate separat la un microscop optic, este de 0,2—0,3 μm și se numește *limită de separare*.

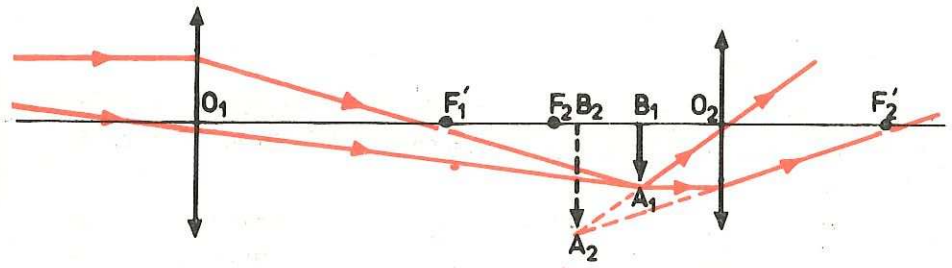


Fig. 8.51. Formarea imaginii în luneta astronomică.

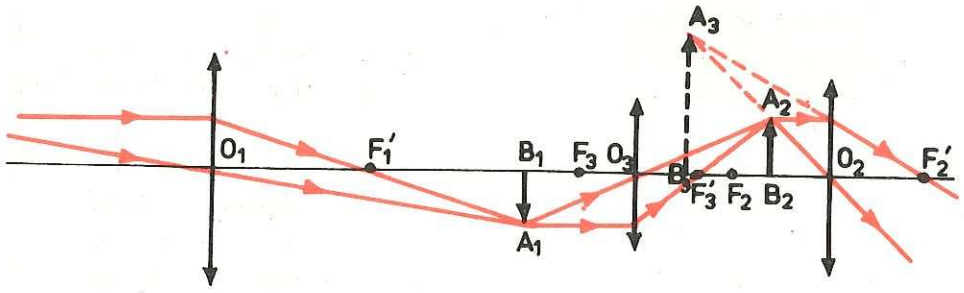


Fig. 8.52. Formarea imaginii în luneta terestră.

În țara noastră se produc la Întreprinderea Optică Română diferite tipuri de microscoape folosite în școli, în cercetarea științifică sau în industrie.

8.6.5. **Luneta** este un instrument optic folosit pentru observarea obiectelor foarte îndepărtate. Luneta conține un obiectiv și un ocular care, în cazul cel mai simplu, pot fi două lentile convergente. Obiectele fiind foarte îndepărtate, razele care vin de la un punct al lor și ajung la obiectivul lunetei sînt practic paralele. Drumul urmat de razele de lumină în lunetă este dat în figura 8.51. Obiectivul are o distanță focală mare, iar ocularul joacă rolul unei lupe. Luneta descrisă dă imagini răsturnate ale obiectelor îndepărtate, fapt lipsit de importanță în cazul studiului aștrilor cerești (luneta numindu-se în acest caz și lunetă astronomică).

Pentru observarea obiectelor terestre îndepărtate, lunetele conțin între obiectiv și ocular o lentilă convergentă, care are rolul de a îndrepta imaginea finală (fig. 8.52).

Un alt tip de lunetă terestră este luneta lui Galilei, la care ocularul este divergent.

Rezumat

Optica geometrică studiază fenomenele luminoase, pe baza modelului de rază de lumină. Lumina se propagă rectiliniu în medii transparente și omogene.

Reflexia luminii este fenomenul de schimbare a direcției de propagare a luminii la suprafața de separare a două medii, lumina întorcîndu-se în mediul din care a venit. La reflexie, unghiul de reflexie și unghiul de incidență au aceeași măsură. Imaginea unui obiect într-o oglindă plană este simetrică cu acesta față de planul oglinzii și virtuală.

Imaginea unui obiect într-o oglindă concavă poate fi reală sau virtuală, răsturnată sau dreaptă, mai mare, egală sau mai mică decît obiectul, în funcție de poziția obiectului față de oglindă. Imaginea unui obiect într-o oglindă convexă este virtuală, dreaptă și mai mică decît obiectul.

Refracția luminii este fenomenul de schimbare bruscă a direcției de propagare a luminii, cînd traversează suprafața de separare a două medii. La trecerea luminii dintr-un mediu mai puțin refringent (cu indice de refracție mai mic) într-un mediu mai refringent (cu indice de refracție mai mare), raza refractată se apropie de normala la suprafața de separare a celor două medii.

La trecerea printr-o lamă cu fețele plane și paralele, raza emergentă este paralelă cu raza incidentă.

O rază de lumină monocromatică este deviată la trecerea printr-o prismă optică.

Lentilele pot fi convergente sau divergente. Natura imaginilor în lentile depinde de poziția obiectului față de lentilă.

Legea lentilelor subțiri: $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ sau $d \cdot d' = f^2$.

Dispersia luminii este fenomenul de descompunere a luminii albe n radiațiile monocromatice componente. Dispersia luminii în prisma optică se datorește faptului că indicele de refracție al prismei este diferit pentru diferite radiații monocromatice. Culoarea corpurilor opace este determinată de radiațiile monocromatice pe care le reflectă, iar culoarea corpurilor transparente de radiațiile monocromatice care pot trece prin ele. Culorile care, suprapuse două cîte două, dau culoarea albă se numesc culori complementare.

Întrebări. Probleme

1. Stelele se află la depărtări foarte mari de Pămînt. Distanţa lor faţă de Pămînt se exprimă în „ani-lumină". Un an-lumină este distanţa străbătută de lumină în timp de un an (365 zile 6 h). Ştiind că distanţa de la Pămînt la cea mai apropiată stea este de 5 ani-lumină, exprimaţi această distanţă în km.

2. Un disc opac cu diametrul de 10 cm este aşezat vertical la 3 m de un perete. La 1 m, în faţa discului, există o sursă luminoasă punctuală. Determinaţi forma şi dimensiunile umbrei discului, proiectată pe perete.

3. De ce nu este indicat să citim la masă avînd lampa aşezată în faţă?

4. Pentru ce instrumentele de măsură electrice, de precizie, au scala prevăzută cu o oglindă plană sub acul indicator?

5. Trei oglinzi plane se dispun ca în figura 8.53. Pe oglinda O_1 cade un fascicul de lumină sub un unghi de incidenţă de 45°. Sub ce unghi de reflexie părăseşte fasciculul oglinda O_3?

R: $\hat{r} = 65°$.

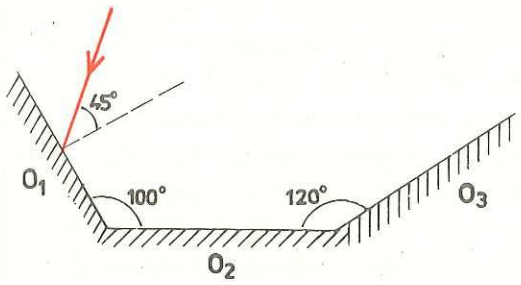


Fig. 8.53. Pentru problema 5.

6. Ce se întîmplă cu direcţia unei raze de lumină reflectată de o oglindă plană, cînd oglinda se roteşte cu un anumit unghi α (fig. 8.54)?

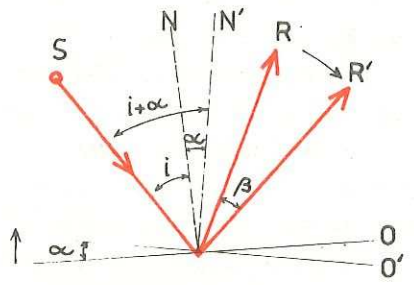


Fig. 8.54. Pentru problema 6.

7. Două oglinzi plane O_1 şi O_2 formează între ele un unghi de 60°. Pe oglinda O_1 cade un fascicul sub un unghi de incidenţă de 45°.

a) Sub ce unghi de reflexie părăseşte fasciculul oglinda O_2?

b) Precizaţi unghiul α ($< 90°$) format de fasciculul incident pe oglinda O_1 cu fasciculul reflectat pe oglinda O_2.

R: *a)* 15°; *b)* $\alpha = 60°$.

8. Cum trebuie să fie oglinda retrovizoare a unui automobil: plană, concavă sau convexă şi de ce?

9. La unele lanterne, becul poate fi deplasat în raport cu oglinda concavă. Cum trebuie deplasat becul unei astfel de lanterne, dacă vrem să obţinem un fascicul paralel de raze, în locul unui fascicul divergent?

10. Cum aţi proceda, pentru ca folosind două oglinzi plane, să obţineţi o rază de lumină reflectată, paralelă cu raza incidentă, dar de sens contrar? (Desenaţi mersul razelor de lumină.)

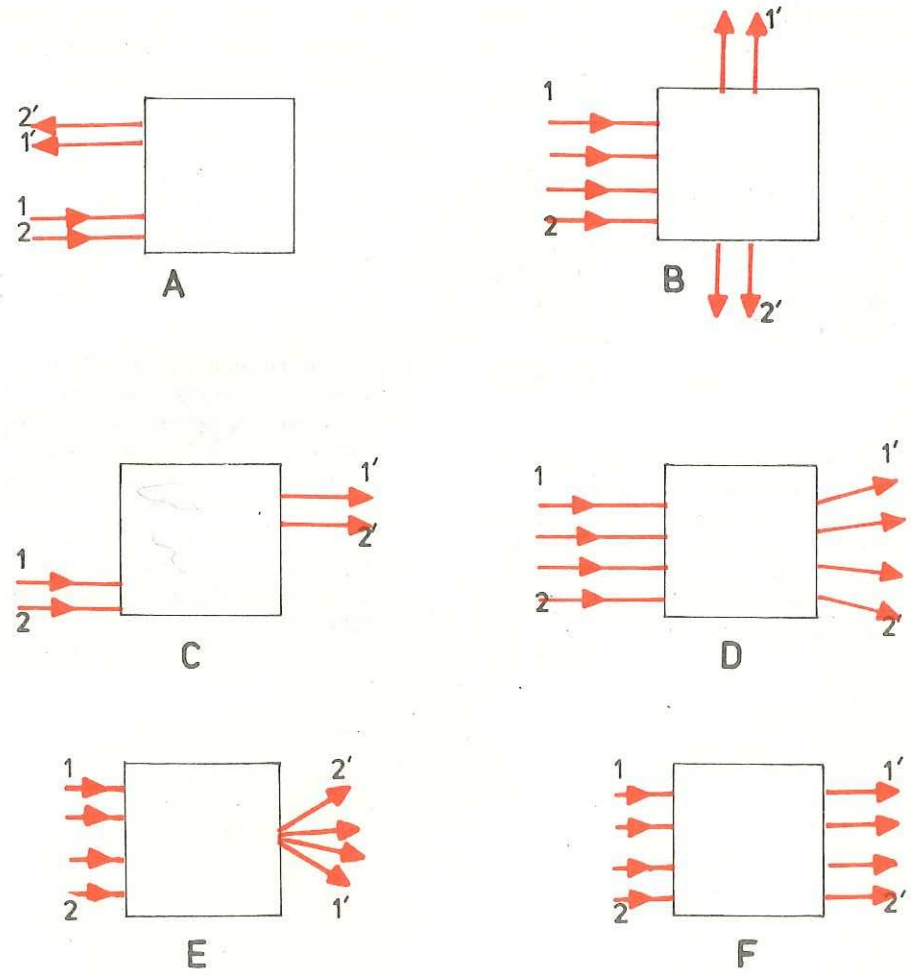


Fig. 8.55. Pentru problema 11.

11. Urmăriţi cu atenţie fasciculele care intră şi ies din cutiile prezentate în figura 8.55. Aşezaţi în interior dispozitive optice studiate care să permită realizarea situaţiilor prezentate.

12. Considerăm două oglinzi plane, perpendiculare una pe cealaltă, iar între ele un mic obiect. Cîte imagini ale obiectului se vor obţine? (Construiţi imaginile obiectului în cele două oglinzi.)

13. Unghiul limită al diamantului este de 24°30′. Calculaţi indicele de refracţie.

14. Ce însuşiri ale imaginii se modifică dacă între obiect şi o lentilă convergentă se plasează un disc opac prevăzut cu un mic orificiu circular:

a) mărimea imaginii;

b) claritatea imaginii;

c) luminozitatea imaginii? (Temă experimentală.)

15. Convergența unei lentile de ochelari este de 2 dioptrii. Care este distanța focală a lentilei?

R: 0,5 m.

16. O lumînare este așezată în fața unei lentile convergente cu distanța focală $f = 8$ cm. Imaginea lumînării, dată de lentilă, este situată la 40 cm față de lentilă. La ce distanță a fost așezată lumînarea față de lentilă?

R: 10 cm.

17. La un aparat de proiecție, diapozitivul are un desen înalt de 6 cm. Imaginea lui pe ecran are înălțimea de 2,4 m. Care este distanța focală a obiectivului aparatului de proiecție, dacă distanța între obiectiv și ecran este de 8,2 m?

R: 20 cm.

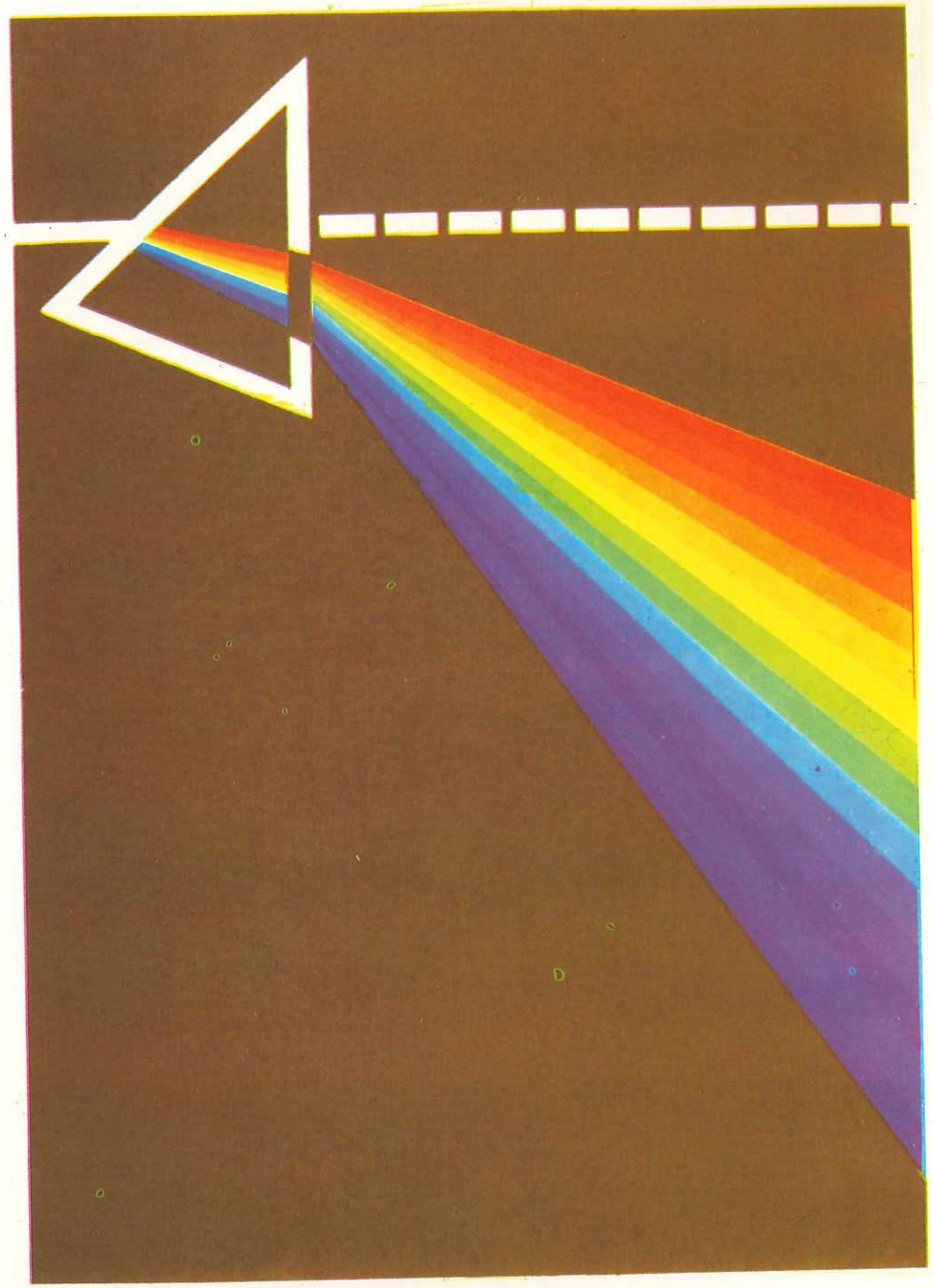
18. În ce culoare vom vedea iarba și frunzele verzi ale copacilor, dacă le privim printr-o sticlă roșie?

19. În fața unei lentile divergente, a cărei distanță focală este de 12 cm, se așază un obiect. Distanța între obiect și lentilă este de 24 cm. La ce depărtare de lentilă se formează imaginea?

R: 8 cm.

20. Un om cu înălțimea de 1,70 m, avînd ochii la 1,60 m deasupra podelei unei camere, privește într-o oglindă plană dreptunghiulară, așezată pe unul din pereții camerei. Care trebuie să fie înălțimea minimă a oglinzii și la ce distanță de podea trebuie așezată latura ei inferioară, pentru ca omul să se vadă în întregime în oglindă?

R: 85 cm.

Bun de tipar : 15.10.1986
Nr. colilor de tipar : 11

Com. nr. 60 360/33 026
Combinatul Poligrafic
„CASA SCÎNTEII"
București — R.S.R.